

Tesis Doctoral

**Título: Entrenamiento de la velocidad para la mejora del
rendimiento en jugadores de rugby senior**



Universidad Pablo de Olavide

**Programa de Doctorado en Ciencias de la Actividad Física y
del Deporte**

Autor: Santiago Zabaloy

Director de Tesis: Dr. Javier Gálvez González

Sevilla, Julio de 2020

A Javier Gálvez González, Guillermo Tramezzani, mis padres, hermanos, amigos y mis hermosas mascotas (Branca y Roco), porque han creído siempre en mí y sin ellos finalizar esta Tesis hubiera sido imposible.

AGRADECIMIENTOS

Entendiendo que el orden de mención no altera el producto final, es decir que todas las personas que aquí menciono han tenido y tienen un lugar importante en mi corazón.

Al rugby, un deporte muy duro y muy difícil de practicar, que te quita muchas cosas, pero te aporta muchas otras. Gracias por enseñarme a luchar por lo que se quiere y a no bajar nunca los brazos. Y en este agradecimiento encierro a todos mis amigos y entrenadores con los que he crecido y me he formado como persona, a todos ellos y sin menciones especiales. Gracias, infinitamente, gracias.

A Juan José González Badillo, a quien respeto y admiro por su sabiduría y calidad humana. Uno de los principales responsables de mi pasión por la ciencia y el deporte. Gracias por todo lo que me has enseñado.

A Javier Gálvez González, por tu dedicación, por tu amistad y por compartir conmigo la pasión por el rugby. Es difícil encontrar en una persona tanta humildad, conocimiento, calidad humana y pasión por lo que uno hace. Estaré eternamente agradecido no sólo de un gran docente, sino desde hace ya varios años, de un gran amigo. Desde aquella primera “charla” sobre un posible TFM a esta Tesis, han pasado muchas cosas, momentos, y jamás he sentido que me faltara el apoyo. Simplemente, ¡gracias totales!

A mi madre, por su apoyo y por transmitirme desde la cuna y cada día su fortaleza, lucha y perseverancia, y a mi padre, por su apoyo y por ser parte activa en este trabajo con sus revisiones del inglés y francés, siempre dispuesto. A todos mis hermanos, sin menciones especiales porque son muchos y los quiero a todos por igual.

A Fernando Pareja Blanco, por su gran ayuda y por todo lo que he aprendido con él, por su gran aportación y participación activa en el desarrollo de esta Tesis, y por supuesto por su calidad humana y capacidad para transmitir todo su conocimiento con paciencia y humildad.

A mi “jefe”, gran entrenador de rugby, Guillermo “Willy” Tramezzani, por confiar en mi la preparación física de un gran equipo y club como es Belgrano Athletic. Y sobre todas las cosas, por creer en mis locuras y no poner nunca trabas para el crecimiento y desarrollo personal y profesional de todos los que estamos a su alrededor.

A Iván López, dirigente, entrenador y amigo del Ciencias Rugby, por ayudarme y acercarme a los distintos clubes de la ciudad de Sevilla y la región de Andalucía. Sobre

todo, por tu amistad, calidez humana y por compartir la pasión por el rugby conmigo en todo momento.

A los clubes de rugby: Belgrano Athletic (Argentina), Club El Nacional (Argentina), Ciencias Rugby (Sevilla), C.A.R Rugby (Sevilla), Mairena (Sevilla), Federación Andaluza de Rugby (Andalucía, España), Las Torres Rugby (Murcia). A todos ellos, y especialmente a los deportistas por prestar su tiempo y consentimiento para formar parte de este proyecto.

A mis amigos del Centro de Investigación en Alto Rendimiento de la Universidad Católica de Murcia (UCAM-CIARD).

A Tomás Freitas, Elena Marín Cascales y Jorge Carlos-Vivas especialmente por vuestra compañía durante mi estancia doctoral en la universidad, por las charlas y momentos compartidos en esos casi 4 meses de estar lejos de tu tierra, pero no sentirme solo nunca. Y sin dudas gracias por su aporte incondicional en estos dos últimos años y colaboración y ayuda en las mediciones de esta Tesis.

A Pedro. E. Alcaraz, por su calidez humana y por creer en mi proyecto. Gracias por haber aportado tanto al desarrollo de la parte final de esta Tesis.

A mis amigos “sudacas”, Federico Gazzo, Julián Giráldez y Rodrigo Villaseca. Gracias por compartir las locuras y la pasión que tenemos por nuestra profesión. Una gran amistad creada en la UPO durante nuestra cursada del Máster en el año 2016, que aun perdura y sigue creciendo. Miles y miles de horas de estudio y compartir conocimiento, dudas y discusiones, ha sido una de las mejores experiencias que me ha tocado vivir como estudiante. Su apoyo y aporte a este trabajo ha sido enorme.

A la Universidad de Flores, y muy especialmente al Dr. Leonargo Gómez Smyth, por marcarme el camino y darme libertad para pensar y ser crítico de nuestras propias prácticas pedagógicas.

A todos mis amigos (aquellos que saben que lo son) que no necesitan ser nombrados, gracias por apreciar y valorar mi trabajo, y por supuesto por su amistad. A todos mis amigos, que directa o indirectamente han estado a mi lado durante todo este proceso y me han brindado su apoyo.

A Mariano Marsili, Mariano Arzuaga y Juan Rassmussen, por creer en este proyecto y abrirme las puertas del club donde nací.

Al club Belgrano Athletic, Colegio Esquiú y Universidad de Flores, y muy especialmente a sus directivos por permitirme viajar y formarme con la seguridad de que podía regresar a mi país y seguir teniendo trabajo. Esa simple acción garantiza que podamos tomar la fuerza necesaria para dar el salto y finalmente saltar. A Marcelo “Chapa” Ruíz, Ignacio Raña Gómez, Leonardo Gómez Smyth y Mauro Zungri. Eternamente agradecido de trabajar con ustedes.

A Irineu Loturco, Thomas Comyns y Lucas Pereira, por su predisposición para colaborar en parte de este proyecto, revisar papers y mejorar la calidad académica de este trabajo.

A Joni, Branca y Roco, por estar siempre. No se puede pedir más.

Muchas gracias de corazón.

PUBLICACIONES

1. **Zabaloy, S.**, Giráldez, J., Gazzo, F., Villaseca-Vicuña, R., Gálvez González, J. (2020). In-season assesment of sprint speed and sprint momentum in rugby players according to the age and playing position. *Journal of Human Kinetics*. Accepted.
2. **Zabaloy, S.**, Carlos-Vivas, J., Freitas, T. T., Pareja-Blanco, F., Pereira, L., Loturco, I., Comyns, T., Gálvez-González, J., & Alcaraz, P. E. (2020). Relationships between Resisted Sprint Performance and Different Strength and Power Measures in Rugby Players. *Sports*, 8(3), 34.
3. **Zabaloy, S.**, Carlos-Vivas, J., Pareja-Blanco. F., Gálvez-González, J. (2020). Determinant factors of physical perfomance in specific rugby playing positions. *Science et Sports*. Accepted.
4. **Zabaloy, S.**, Pareja-Blanco, F., Giráldez, J. C., Rasmussen, J. I., & Gálvez-González, J. (2020). Effects of individualized training programs based on the force-velocity imbalance on physical performance in rugby players. *Isokinetics and Exercise Science*, 28(2):181-190.
5. **Zabaloy, S.**, Carlos-Vivas, J., Freitas, T. T., Pareja-Blanco, F., Loturco, I., Comyns, T., Gálvez-González, J., & Alcaraz, P. E. (2020). Muscle Activity, Leg Stiffness, and Kinematics During Unresisted and Resisted Sprinting Conditions. *Journal of Strength and Conditioning Research*. Accepted.

ÍNDICE

1.	Resumen.....	17
1.1	Artículo I.....	20
1.2	Artículo II	21
1.3	Artículo III.....	22
1.4	Artículo IV	23
1.5	Artículo V	24
2.	Introducción	27
3.	Problemática objeto de estudio y objetivos	33
4.	Marco Teórico	37
4.1	Importancia de la velocidad de sprint en el rugby	37
4.2	Análisis de la distancia necesaria para alcanzar el pico de velocidad.....	38
4.3	Análisis de las diferencias en el juego por puestos.....	39
4.4	Métodos de Entrenamiento de la velocidad: Resistido vs Tradicional	41
4.4.1	Evaluación del rendimiento de sprint mediante electromiografía, variables cinemáticas y stiffness.....	44
4.5	Importancia del entrenamiento de la fuerza y la potencia en el rugby	46
4.6	Introducción al Perfil Fuerza-velocidad de salto	48
4.6.1	Perfil Fuerza-velocidad de salto y rendimiento físico y deportivo	49
5.	Artículo I: Evaluación de la velocidad de sprint y momento lineal en jugadores de rugby según la edad y puesto de juego durante el período competitivo	55
5.1	Introducción	55
5.2	Material y Método	57
5.2.1	Participantes.....	57
5.2.2	Diseño y Procedimientos	57
5.2.3	Análisis Estadístico	58
5.3	Resultados.....	59

5.4	Discusión	66
5.5	Conclusiones	69
5.6	Aplicaciones Prácticas	70
6.	Artículo II: Relaciones entre el rendimiento de sprint resistido y diferentes variables de fuerza y potencia en jugadores de rugby	73
6.1	Introducción	73
6.2	Material y Métodos	75
6.2.1	Participantes	75
6.2.2	Diseño y Procedimientos	76
6.2.3	Tests.....	76
6.2.4	Tests de sprint para Ecuación de Regresión Individual.....	77
6.2.5	Tests de saltos	77
6.2.6	Test de Fuerza Isométrica Específico.....	78
6.2.7	Test de Fuerza Isométrica en Sentadillas	80
6.2.8	Test de Fuerza de cargas progresivas	80
6.2.9	Análisis Estadístico	81
6.3	Resultados.....	81
6.4	Discusión	87
6.5	Conclusiones	89
6.6	Aplicaciones Prácticas	90
7	Artículo III: Factores determinantes del rendimiento físico según las posiciones específicas en jugadores de rugby	93
7.1	Introducción	93
7.2	Material y Método	95
7.2.1	Participantes.....	95
7.2.2	Diseño y Procedimientos	95
7.2.3	Tests.....	96
7.2.4	Test de velocidad de sprint.....	96

7.2.5	Prueba de salto y perfil de fuerza-velocidad	97
7.2.6	Test isoinercial de cargas progresivas.....	98
7.2.7	Análisis Estadístico	98
7.3	Resultados.....	99
7.4	Discusión	105
7.5	Conclusiones	109
7.6	Aplicaciones Prácticas	109
8	Artículo IV: Efectos de un programa de entrenamiento individualizados basados en el perfil fuerza-velocidad sobre el rendimiento físico en jugadores de rugby	113
8.1	Introducción	113
8.2	Material y Método	115
8.2.1	Participantes.....	115
8.2.2	Diseño y Procedimientos	115
8.2.3	Tests.....	119
8.2.4	Pruebas de salto y del perfil de fuerza-velocidad.....	119
8.2.5	Test de carga progresivas en Sentadilla.....	120
8.2.6	Test de velocidad de sprint.....	120
8.2.7	Análisis Estadístico	121
8.3	Resultados.....	121
8.4	Discusión	125
8.5	Conclusiones	128
8.6	Aplicaciones Prácticas	128
9	Artículo V: Cambios en las activaciones musculares, stiffness y variables cinemáticas durante el entrenamiento de sprint sin carga y con trineos de arrastre con diferentes condiciones de carga	131
9.1	Introducción	131
9.2	Material y Método	133

9.2.1 Participantes.....	133
9.2.2 Diseño y Procedimientos	134
9.2.3 Test de Sprint para el cálculo de la ecuación de regresión individual	134
9.2.4 Test de Sprint para la activación muscular y variables cinemáticas	134
9.2.5 Análisis Electromiográfico (EMG) del sprint	135
9.2.6 Análisis cinemático del sprint	136
9.2.7 Análisis Estadístico	136
9.3 Resultados.....	137
9.4 Discusión	144
9.5 Conclusiones	147
9.6 Aplicaciones Prácticas	147
10 Discusión general	151
11 Conclusiones Generales	163
12 Aplicaciones Prácticas Generales	167
13 Limitaciones de la Investigación.....	171
14 Futuras Líneas de Investigación	175
15 Referencias	179
16 Glosario de Acrónimos	203
17 Relación de Tablas y Figuras	209

I. RESUMEN



1. Resumen

En la presente Tesis doctoral se tratarán una serie de problemáticas relacionadas con el entrenamiento de la velocidad de sprint en el rugby. Todas ellas están estrechamente relacionadas entre sí, ya que plantean la necesidad de establecer métodos de entrenamiento y evaluaciones específicas para los jugadores de rugby y en relación con el puesto específico de juego. La Tesis está compuesta por cinco estudios, los cuales fueron realizados con jugadores de rugby de edades infanto-juvenil (12-18 años) y senior (mayores), teniendo como objetivo analizar diferentes aspectos relacionados con el entrenamiento de la velocidad de sprint: (1) investigar el intervalo en el que los jugadores de rugby masculinos alcanzan la velocidad máxima en un sprint de 50-m según la edad y puesto específico, adicionalmente establecer la distancia óptima para la evaluación de la velocidad del sprint y comparar las diferencias en características antropométricas, rendimiento en sprint y momento lineal según la edad y puesto específico; (2) investigar la relación entre una prueba de fuerza isométrica específica de sprint (SIST) y la velocidad máxima sin carga añadida ($V_{m\acute{a}x}$), los tiempos de sprint en diferentes condiciones de carga respecto del peso corporal (PC) y pérdida de velocidad (V_{loss}) durante un entrenamiento de sprint resistido con trineos de arrastre (RST) y un conjunto de pruebas de fuerza (dinámica e isométrica) y saltos en jugadores de rugby; (3) analizar las diferencias en el perfil de fuerza-velocidad (Fv) y el rendimiento del sprint, la fuerza y el salto según la posición de juego, y examinar las relaciones entre estos parámetros de condición física dentro de los puestos de juego más específicos en rugby; (4) analizar los efectos en rendimiento de fuerza, el salto y sprint luego de programa de entrenamiento de fuerza (RT) individualizado basado en desequilibrio del perfil fuerza-velocidad (FV_{imb}) en jugadores de rugby; (5) comparar los cambios en la actividad muscular (EMG), stiffness (K_{leg}) y las variables cinemáticas del sprint sin carga respecto del RST con diferentes cargas según V_{loss} .

Respecto de los resultados aportados por nuestros estudios, y en línea con las conclusiones aportadas consideramos que: i) debemos utilizar una distancia adecuada para evaluar el sprint; ii) usar medios adecuados de evaluación de las capacidades físicas de los jugadores de rugby; iii) individualizar los entrenamientos de los jugadores de rugby, dadas las grandes diferencias que hay entre categorías de edad y entre puestos específicos en este deporte; y finalmente, iv) seleccionar el método y la carga mas adecuada para entrenar la velocidad de sprint en función de los objetivos y la distancia a utilizar en los entrenamientos.

RESUMEN DE PUBLICACIONES



1.1 Artículo I

Título: *Evaluación de la velocidad de sprint y momento lineal en jugadores de rugby según la edad y puesto específico.*

Objetivos: El objetivo de este estudio fue investigar el intervalo en el cual los jugadores de rugby masculinos alcanzan la velocidad máxima en un sprint de 50-m según las categorías de edad y las posiciones de juego. Este estudio también tuvo como objetivo establecer la distancia óptima para la evaluación de la velocidad del sprint y comparar las diferencias en características antropométricas, rendimiento de sprint y momento lineal según la edad y la posición de juego.

Método: 300 jugadores de rugby ($n = 300$) amateur realizaron pruebas antropométricas y de rendimiento físico (tiempos de sprint de 10, 20, 30, 40 y 50-m, aceleración, velocidad máxima y momento lineal) durante el período de competencia. Los participantes pertenecen a diferentes categorías de edad (menores de 14 años [U14], menores de 16 años [U16], menores de 18 años [U18] y mayores [senior]) y puestos específicos (delanteros y backs), se ofrecieron como voluntarios para participar en este estudio.

Resultados: Los resultados revelaron que la mayoría de los jugadores U14 y U16 (58.2% y 55.3%, respectivamente) alcanzaron la velocidad máxima en el intervalo entre 20 y 30 m con una velocidad de sprint menor que los jugadores U18 y Seniors (44% y 49%, respectivamente). Las comparaciones entre cada intervalo mostraron diferencias significativas para todos los delanteros U14 y U16, lo que sugiere que el intervalo más rápido fue el 20-30 m. No se encontraron diferencias significativas para U16 backs, U18 y Seniors, entre los tiempos de sprint en los intervalos de 20-30 m y 30-40 m. Además, las comparaciones entre grupos demostraron diferencias significativas ($p < 0.001$) en U14 en comparación con U16, U18 y Seniors en variables antropométricas, tiempos de sprint, velocidad máxima y momento lineal.

Conclusiones: En conclusión, este estudio sugiere que la distancia óptima para la evaluación de la velocidad de sprint de los jugadores de rugby es de 30-m y que la masa corporal, el momento lineal y la velocidad de sprint claramente discriminan entre jugadores de diferentes categorías de edad y puesto específico.

Palabras clave: deportes de equipo, rendimiento, evaluación, velocidad.

1.2 Artículo II

Título: *Relaciones entre el rendimiento de sprint resistido y diferentes variables de fuerza y potencia en jugadores de rugby.*

Objetivos: Este estudio tuvo como objetivo investigar la relación entre una prueba de fuerza isométrica específica de sprint (SIST) y la velocidad máxima no resistida ($V_{\text{máx}}$), los tiempos de sprint en diferentes condiciones de carga (% del peso corporal [PC]) y las cargas necesarias para lograr cada condición de pérdida de velocidad (V_{loss}) previstas durante el entrenamiento de sprint resistido (RST) en jugadores de rugby. Como objetivo secundario, planteamos examinar la relación entre la fuerza máxima en el ejercicio de sentadillas (1RM-SQ), así como las variables de rendimiento de sentadilla isométrica (ISQT), saltos y sprint.

Método: Veinte ($n = 20$) jugadores de rugby amateur masculinos realizaron, en dos días distintos, con una separación de 48 horas, una evaluación estructural multiarticular de saltos, fuerza y rendimiento de sprint sin carga y con diferentes condiciones de carga (20, 40, 60, 80% PC).

Resultados: SIST reveló correlaciones moderadas ($r = 0.453$ a 0.681 ; $p < 0.05$) entre 1RM-SQ e ISQT. El SIST_{rel} (relativo a la masa corporal), pero no el SIST, utilizado en el presente estudio mostró correlaciones moderadas ($r = 0.508$ a 0.675 ; $p < 0.05$) con las cargas necesarias para alcanzar el 10%, 30% y 50% de V_{loss} durante RST.

Conclusiones: El SIST_{rel} que mide la aplicación de fuerza resultante en una posición más relacionada con el sprint explica gran parte la respuesta individual de cada atleta durante el sprint resistido y también podría usarse para prescribir y cuantificar cargas en el RST de una manera más objetiva e individual.

Palabras clave: deportes de equipo, rendimiento, tests, entrenamiento, velocidad

1.3 Artículo III

Título: *Factores determinantes del rendimiento físico según las posiciones específicas en jugadores de rugby.*

Objetivos: Este estudio tuvo como objetivo analizar las diferencias en el perfil de fuerza-velocidad (Fv) y el rendimiento de sprint, fuerza y salto de acuerdo con la posición de juego, y examinar las relaciones entre estos parámetros de rendimiento dentro de las posiciones específicas de juego de rugby.

Método: 51 jugadores de rugby masculinos ($n = 27$, backs; $n = 24$, delanteros) de nivel amateur fueron evaluados en su perfil Fv, saltos verticales, sprint de 30-m, y fuerza en ejercicios de sentadilla y press de banca. Para una comprensión más profunda de las diferencias posicionales, los delanteros se dividieron en primera línea (FR) y delanteros restantes (BF), y los backs, en Outside (OB) e Inside backs (IB).

Resultados: Los delanteros mostraron mayor masa corporal y altura, mayor momento lineal y mayor fuerza absoluta que los backs, mientras que los backs demostraron un mejor rendimiento en sprints de 5 y 30-m. No se observaron diferencias significativas entre OB e IB para ninguna de las variables analizadas. FR fue significativamente más pesado que BF, mientras que BF demostró mayor altura, y rendimiento en salto, velocidad y potencia máxima comparado con FR. No se observaron diferencias significativas entre las posiciones para el desequilibrio del perfil Fv (Fvimb). No se encontraron correlaciones entre el Fvimb y ninguna variable del rendimiento físico, independientemente de la posición de juego. La potencia máxima ($r = 0.434-0.855$; $p < 0.05$) y la fuerza relativa ($r = 0.404-0.772$; $p < 0.05$) fueron las variables que más se correlacionaron con el rendimiento del salto y sprint en delanteros y backs.

Conclusiones: Existen claras diferencias entre backs y delanteros en el rendimiento de fuerza y sprint. Aunque no se hallaron diferencias entre posiciones específicas entre los backs, contrariamente a esto, las posiciones específicas entre delanteros mostraron diferencias claras en las características antropométricas y en todas las variables de rendimiento físico. Poseer altos niveles de fuerza y potencia relativas parecen ser variables relevantes para lograr un alto rendimiento en velocidad de sprint y saltos.

Palabras clave: perfil fuerza-velocidad, tests, entrenamiento, deportes de equipo.

1.4 Artículo IV

Título: *Efectos de un programa de entrenamiento individualizados basados en el desequilibrio del perfil fuerza-velocidad en el rendimiento físico en jugadores de rugby.*

Objetivos: Este estudio tuvo como objetivo analizar los efectos en el rendimiento de fuerza, salto y sprint luego de programa de entrenamiento de fuerza (RT) individualizado basado en el desequilibrio del perfil Fv (Fvimb) en jugadores de rugby

Método: Treinta y cuatro jugadores de rugby ($n = 34$) senior se dividieron en cuatro grupos de acuerdo con su Fvimb: No individualizado (NI, $n = 8$), desequilibrio de velocidad (Vimb, $n = 6$), desequilibrio de fuerza (Fimb, $n = 11$) y bien equilibrado (WB, $n = 9$). El período de intervención consistió en un programa de entrenamiento de fuerza, saltos y sprint de 7 semanas realizado dos veces por semana. Las pruebas pre- y post-entrenamiento incluyeron la evaluación del perfil Fv, salto con contra-movimiento (CMJ), sprint de 30-m y estimación de la carga máxima de una repetición en sentadilla (1RM-SQ).

Resultados: Se observaron interacciones significativas de "tiempo" x "grupo" ($p < 0.05$) para la velocidad máxima teórica (V_0), fuerza máxima teórica (F_0) y Fvimb. No se observaron interacciones significativas "grupo" x "tiempo" para el resto de variables analizadas. El grupo Vimb aumentó V_0 ($p < 0.05$), mientras que disminuyó en F_0 y Fvimb ($p < 0.05$). El grupo Fimb mostró una reducción significativa ($p < 0.05$) en V_0 , mientras que incrementó su F_0 y Fvimb ($p < 0.05$). Los grupos WB y NI no mostraron cambios significativos en estas variables. El grupo WB alcanzó mejoras significativas en tiempos de sprint en 10, 20 y 30-m, velocidad máxima de sprint y momento lineal (SM), mientras que Fimb logró cambios significativos en tiempos de sprint en 20 y 30-m. NI alcanzó mejoras significativas ($p < 0.05$) en SM. No se observaron cambios significativos para 1RM-SQ y el rendimiento de salto en ninguno de los grupos del presente estudio.

Conclusiones: Los programas de RT individualizados basados en Fvimb provocaron mejoras en el rendimiento del sprint. Por otra parte, individualizado, los programas de RT individualizados basados en Fvimb indujeron mejores ajustes del perfil de Fv "actual" respecto del perfil de Fv "óptimo" teórico, aunque no se observaron mejoras en la fuerza en sentadillas, altura de salto ni en la potencia máxima.

Palabras clave: entrenamiento de fuerza, fuerza muscular, pliometría, deportes de equipo.

1.5 Artículo V

Título: *Cambios en las activaciones musculares, stiffness y variables cinemáticas durante el entrenamiento de sprint sin carga y con trineos de arrastre con diferentes condiciones de carga.*

Objetivos: El propósito del presente estudio fue comparar los cambios en la actividad muscular, K_{leg} y las variables cinemáticas del sprint sin carga y sprints resistidos con diferentes cargas según el porcentaje de pérdida de velocidad (V_{loss}).

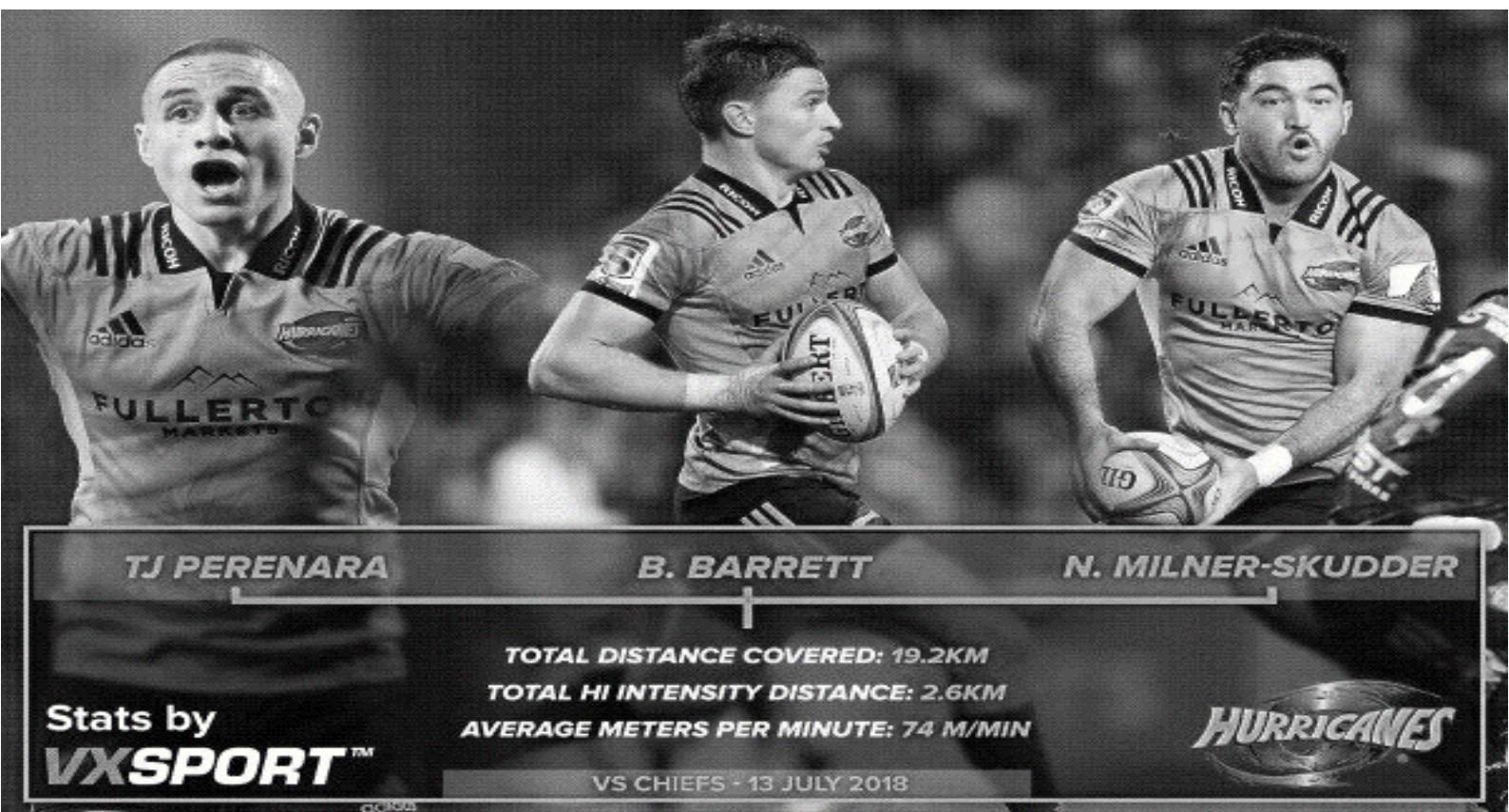
Método: Doce jugadores masculinos de rugby (edad: 23.5 ± 5.1 años; altura: 1.79 ± 0.04 m; masa corporal 82.5 ± 13.1 kg) realizaron sprints sobre 30-m utilizando diferentes condiciones de carga (0%, 10%, 30% y 50% V_{loss}) respecto de la velocidad máxima alcanzada en condiciones sin carga, para estudiar los efectos sobre la EMG del bíceps femoral de cabeza larga (BF_{lh}), recto femoral (RF), glúteo medio (GM) y gastrocnemio (GAS), K_{leg} y las variables cinemáticas (tiempo de contacto, tiempo de vuelo, amplitud y frecuencia de zancada, y ángulo del tronco).

Resultados: Las cargas más altas condujeron a una activación del bíceps femoral de cabeza larga significativamente más baja y a una mayor actividad del recto femoral ($p < 0.01-0.05$). Se observaron reducciones significativas en K_{leg} a medida que aumentaba la carga ($p < 0.001-0.05$). Las variables cinemáticas mostraron cambios sustanciales con cargas más altas durante la fase de aceleración y $V_{m\acute{a}x}$.

Conclusiones: Cuanto más pesada sea la carga del trineo, mayores serán los efectos en la actividad muscular, K_{leg} y cinemática. Cuando los entrenadores y profesionales del deporte tienen la intención de llevar a cabo sesiones de entrenamiento de RST sin provocar grandes cambios en la técnica de sprint, se deben evitar las cargas altas ($\geq 30\%$ V_{loss}). Sin embargo, las cargas altas de trineo pueden permitir a los atletas mantener posiciones específicas de la fase de aceleración temprana durante intervalos de tiempo más largos (es decir, los primeros 2-3 pasos durante los sprints sin resistencia).

Palabras clave: actividad neuromuscular, aceleración, velocidad máxima, deportes de conjunto, rendimiento

II. INTRODUCCIÓN



2. Introducción

El Rugby Unión (15 jugadores, en adelante ‘rugby’) y Rugby League (13 jugadores) son deportes de colisión y contacto que requieren acciones de sprint de máxima intensidad (Cross et al., 2015). El rugby es un deporte de carácter intermitente donde predominan las situaciones de contacto en las cuales la velocidad, agilidad y capacidad de resistencia podrían lograr que los jugadores destaquen del resto (Smart et al., 2014). Los jugadores más rápidos rompen la línea de ventaja, quiebran los tackles, evaden a sus defensores y marcan ensayos con mayor frecuencia que el resto de jugadores (Smart et al., 2014). Los jugadores de rugby deben dominar una amplia gama de actividades como correr, atacar, patear, pasar, atrapar y saltar, tanto en entrenamiento como en competencia y estas demandas serán distintas dependiendo del puesto específico (Vaz, Vasilica, Carreras, Kraak, & Nakamura, 2016). Siguiendo a Cross et al. (2015), la mayoría de los esfuerzos de sprint se realizan en distancias relativamente cortas ($< 30\text{-m}$), y los jugadores repetidamente logran alcanzar valores máximos de aceleración y $V_{\text{máx}}$ durante la competición (Austin et al., 2011). Por lo tanto, todo jugador de rugby que pretenda rendir a nivel internacional debe ser capaz de dominar las diferentes fases de la carrera de velocidad, incluidas la aceleración inicial y la velocidad máxima de sprint (Cross et al., 2015).

Las características antes mencionadas justifican la necesidad de acompañar el crecimiento en popularidad y participación en todos los niveles de este deporte, a través de un mejor entendimiento y utilización de los métodos de entrenamiento para elevar el rendimiento físico y deportivo de los deportistas. Respecto del entrenamiento de la velocidad de sprint, en un artículo de revisión, Chiwaridzo et al. (2017) afirman que existen numerosas investigaciones realizadas con jugadores de rugby unión y league, y fútbol, sobre métodos de entrenamiento, distancias recorridas, picos de velocidad alcanzados, protocolos de evaluación, etc. Chiwaridzo et al. (2017) plantean dudas sobre la utilidad y la aplicabilidad de los tests utilizados en el rugby, reafirmando la creciente necesidad de estudios futuros de alta calidad que evalúen las propiedades de medición de estas pruebas fisiológicas. La capacidad de mejorar el rendimiento del sprint es un objetivo central de entrenamiento para los todos los profesionales de diversos deportes y disciplinas, con lo cual, para cualquier deportista conseguir una mejora en el rendimiento general puede resultar en un incremento en la capacidad de aceleración y/o velocidad máxima de sprint (VMS) (Petrakos et al., 2016). Tanto la aceleración como VMS son

indicadores comúnmente monitoreados del rendimiento físico durante el entrenamiento y la competencia deportiva (Petrakos et al., 2016). Por lo tanto, si queremos asegurar las adaptaciones necesarias en el organismo para poder rendir al más alto nivel deportivo, debemos cumplir con el principio de especificidad del entrenamiento. Para ello, debemos seleccionar y elegir los métodos y estímulos más adecuados para los deportistas en los entrenamientos. Reilly, Morris, & Whyte (2009) indican que, para intentar predecir el rendimiento, un requisito fundamental es poder identificar los determinantes fisiológicos de dicho rendimiento para así poder establecer los perfiles de los atletas, pudiendo entonces prescribir y monitorizar el entrenamiento. Ante lo expuesto anteriormente, sabemos que no existe un consenso general sobre cuáles son los métodos de entrenamiento y evaluación de la velocidad de sprint que provoca mayores efectos sobre el rendimiento físico y deportivo en jugadores de rugby.

Respecto del entrenamiento basado en la evaluación del perfil Fv, según Samozino, Rejc, Di Prampero, Belli, & Morin (2012), el rendimiento balístico de las extremidades inferiores depende tanto de las capacidades de P_{máx} como del perfil Fv. De acuerdo con estos autores (Samozino et al., 2016) la existencia de un perfil individual “óptimo” que corresponde al mejor equilibrio entre las capacidades de fuerza y velocidad, nos permite describir las características y el potencial del sistema neuromuscular del deportista. Adicionalmente, el perfil Fv de salto, permite en relación con la altura alcanzada, determinar la P_{máx} que los miembros inferiores pueden generar durante el salto vertical (Samozino et al., 2016; Samozino, Rejc, di Prampero, Belli, & Morin, 2014; Samozino et al., 2012).

Se ha demostrado que el rendimiento de sprint está fuertemente correlacionado con rendimiento de salto en jugadores de rugby (Cronin & Hansen, 2005; Cunningham et al., 2013). Destacando de este modo el uso del salto como un método simple y ampliamente difundido para evaluar el perfil Fv en varios deportes en condiciones de campo. Además el hecho de estar estrictamente protocolizado facilita la comparación sistemática de la capacidad neuromuscular en miembros inferiores (Giroux, Rabita, Chollet, & Guilhem, 2016). Este método es muy importante a la hora de diseñar programas de entrenamiento individualizados para cada deportista ya que, en términos prácticos, para mejorar el rendimiento en acciones explosivas como los saltos, sprint o cambios de dirección, los investigadores antes mencionados (Morin & Samozino, 2016; Samozino et al., 2014; Samozino et al., 2012), proponen que el entrenamiento debería

orientarse a aumentar la $P_{\text{máx}}$ y/o disminuir el F_{vimb} del perfil que presenta el deportista en relación con su fuerza y velocidad.

Mejorar el rendimiento del sprint según han mencionado algunos autores (Alcaraz, Carlos-Vivas, Oponjuru, & Martínez-Rodríguez, 2018; Petrakos et al., 2016; Seitz, Reyes, Tran, Saez de Villarreal, & Haff, 2014) es un objetivo fundamental de los métodos de entrenamiento diseñados para alcanzar las mejoras necesarias para el éxito en muchos deportes individuales y de equipo. Según Seitz et al. (2014) la mejora del rendimiento en velocidad de sprint ha demostrado ser un factor determinante para acceder a un mayor nivel de rendimiento en fútbol, fútbol americano y rugby league, mientras que también desempeña un papel importante en el proceso de selección y exclusión en muchos deportes. Incluso existen investigaciones relacionadas con la prevención de lesiones en deportistas que demuestran que las mejoras en el rendimiento de fuerza en miembros inferiores, capacidad de sprint repetidos y la velocidad de sprint fueron asociados con una mayor tolerancia hacia altas cargas de trabajo y un menor riesgo de lesiones en los atletas de deportes de equipo (Malone et al., 2018).

Con la presente Tesis Doctoral se ha pretendido estudiar la importancia de la evaluación de la velocidad de sprint y de la fuerza, y analizar los métodos de entrenamiento actuales para intentar dar a conocer cuales los efectos de éstos sobre el rendimiento en jugadores de rugby. Por ello, entendemos que a través del análisis de estas variables podríamos tener una información más precisa sobre los efectos que han provocado los estímulos de entrenamiento en el rendimiento.

Para ello se han llevado a cabo cinco estudios, cada uno de los cuales tiene como eje central el análisis del rendimiento de la velocidad de sprint en jugadores de rugby.

III. PROBLEMÁTICA OBJETO DE ESTUDIO Y OBJETIVOS



3. Problemática objeto de estudio y objetivos

Respecto de lo comentado anteriormente, parece existir una falta de conocimiento en torno a estas cuestiones y por lo tanto consideramos que es necesario profundizar sobre los métodos evaluación y de entrenamiento para la mejora de la velocidad de sprint en jugadores de rugby de nivel competitivo y alto rendimiento, intentado analizar e identificar las diferencias en relación con la edad y el puesto específico. Sabiendo que tanto la fuerza y como la velocidad son cualidades que están directamente relacionadas (Kraemer & Newton, 2000), entendemos que es igualmente necesario el estudio del perfil Fv y realizar un estudio más profundo respecto del entrenamiento de sprint con trineos de arrastre ya que podría aportar nuevos avances respecto de los efectos que provocan estos métodos en el rendimiento físico de los jugadores de rugby.

En este sentido, el problema que nos planteamos fue el siguiente: ¿Cuáles son los métodos de evaluación y entrenamiento de la velocidad más eficientes para la mejora del rendimiento en jugadores de rugby?

Para ello planteamos los siguientes objetivos:

- a) Determinar la distancia necesaria para alcanzar el pico de velocidad en jugadores de rugby según la edad y puesto específico; y adicionalmente establecer la distancia óptima para la evaluación de la velocidad del sprint y comparar las diferencias en características antropométricas, rendimiento en sprint y momento lineal según la edad y puesto específico.
- b) Investigar la relación entre una prueba de fuerza isométrica específica de sprint (SIST) y la velocidad máxima sin carga añadida, los tiempos de sprint en diferentes condiciones de carga respecto del peso corporal y las cargas según el porcentaje de Vloss durante un entrenamiento de sprint resistido con trineos de arrastre y un conjunto de pruebas de fuerza (dinámica e isométrica) y saltos en jugadores de rugby.
- c) Analizar las diferencias en el perfil de Fv y el rendimiento del sprint, fuerza y saltos según la posición de juego, y luego examinar las relaciones entre éstos parámetros de condición física dentro de los puestos de juego más específicos en rugby.
- d) Analizar los efectos en rendimiento de fuerza, el salto y sprint luego de un programa de entrenamiento de fuerza individualizado basado en Fvimb del perfil Fv en jugadores de rugby.
- e) Comparar los cambios en la actividad muscular, K_{leg} y las variables cinemáticas del sprint sin carga respecto del RST con diferentes cargas según Vloss.

IV. MARCO TEÓRICO



4. Marco Teórico

4.1 Importancia de la velocidad de sprint en el rugby

Desde la introducción del profesionalismo en el rugby en 1995, se han realizado una gran cantidad de investigaciones intentado comprender las características de juego y la carga de trabajo de los jugadores (Takamori et al., 2020). También, ha experimentado una serie de cambios en las leyes para que el juego siga siendo atractivo para los espectadores y sea competitivo con otros códigos de fútbol (Austin et al., 2011). Actualmente existe evidencia científica que sugiere que el juego se ha vuelto más rápido y más exigente físicamente como resultado de estos cambios (Austin et al., 2011). Las demandas del juego han ido incrementándose, dando como resultado un aumento en las actividades totales de alta intensidad, la frecuencia de sprint y las relaciones de trabajo-pausa en todas las posiciones de juego (Austin et al., 2011; Lindsay et al., 2015). El Rugby se caracteriza por múltiples actividades de alta intensidad interrumpidas por actividades de baja intensidad, pero además, los jugadores participan en acciones físicamente exigentes como tackles, rucks y mauls para obtener la posesión del balón (Chiwariidzo et al., 2016). Esto requiere de los deportistas una gran fortaleza física que les permita ser resistentes a la fatiga y poder dominar las situaciones de contacto.

El sprint lineal, representa una de las habilidades motoras más importantes en el deporte, y ser capaz de correr más rápido y más eficientemente pone a un individuo en una ventaja competitiva considerable frente al resto de deportistas (Benz et al., 2016). Los jugadores más veloces podrían forzar a los defensores a tomar decisiones y posiciones defensivas débiles y eso podría provocar que el defensor sea dominado en el contacto y que el atacante logre evadir o romper defensas con mayor facilidad (Smart et al., 2014). La toma de conciencia de la velocidad y profundidad de la línea de defensa, la capacidad para recibir el balón a máxima velocidad y la destreza para realizar pases rápidos entre atacantes crea mayores oportunidades para poder romper la línea defensiva, siendo éste un indicador clave de éxito, ya que crea oportunidades para anotar ensayos (den Hollander et al., 2016).

Desde el punto de vista del rendimiento físico, algunos estudios indican la importancia de la velocidad de sprint cuando se analizan las demandas de carrera en competición. Cahill, Lamb, Worsfold, Headey, & Murray (2013) indican que los picos de velocidad máxima alcanzada por partido en algunos puestos específicos son de 30.4 ± 3.3 km·h⁻¹. Jones, West, Crewther, Cook, & Kilduff (2015) a su vez señalaron que jugadores

en algunos puestos específicos recorren 425 ± 196 m a velocidad de sprint ($> 20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), y Suárez-Arrones, Portillo, González-Ravé, Muñoz, & Sánchez (2012) recuentan hasta 26 sprints ($> 20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) realizados por los jugadores de categoría senior españoles. Estos valores reportados son un poco superiores a los obtenidos por Hartwig, Naughton, & Searl (2011) con jugadores de rugby adolescentes (< 18 años).

4.2 Análisis de la distancia necesaria para alcanzar el pico de velocidad

La velocidad de sprint es el producto de frecuencia y amplitud de zancada, ambos parámetros son interdependientes y están condicionados individualmente por los procesos de regulación central del movimiento, características morfológicas y fisiológicas, habilidades y factores energéticos del sujeto (Coh, Milanović & Kampmiller, 2001). La fase de aceleración en el sprint se define como la tasa de cambio en la velocidad de carrera, siendo la aceleración instantánea positiva en el tiempo la que implica un aumento en la velocidad de carrera, y la fase de velocidad máxima se define como un período en el que se alcanza la velocidad máxima de carrera y, por lo tanto, la aceleración tiende a cero (Petrakos et al., 2016).

En el caso concreto del entrenamiento de la velocidad de sprint, Rumpf, Lockie, Cronin, & Jalilvand (2016) indican que, para mejorar el rendimiento, el entrenamiento específico (usando la carrera como medio de entrenamiento) es el que obtiene mayores mejoras frente a otros métodos de entrenamiento, pero destacan que al aplicarlo debemos asegurar el uso de una distancia específica en el entrenamiento. ¿Cuál debe ser esa distancia? En su estudio de revisión Chiwaridzo et al. (2017) hallaron protocolos de evaluación de velocidad de sprint que van desde los 5 hasta los 60-m. En esta línea, Buchheit, Simpson, Peltola, & Mendez-Villanueva (2012), plantean la necesidad de determinar en qué distancia alcanzan los jugadores de fútbol su velocidad máxima en relación a la edad. Buchheit et al. (2012) concluyen que a menor edad, mayor porcentaje de jugadores que alcanzan su velocidad máxima en el intervalo 10-20 m y por el contrario a mayor edad, se corresponde una mayor velocidad máxima y también una mayor distancia necesaria para alcanzarla (intervalo 30-40 m). Disponer de esta información, además de facilitar la programación individualizada de los entrenamientos de la velocidad de sprint según el rango de edad y puesto específico, permite adaptar las distancias empleadas para los test de velocidad realizados a los jugadores de rugby.

Como hemos mencionado anteriormente, no existe claridad en la literatura sobre la distancia a la cual se deben realizar los test de velocidad máxima de sprint. Duthie, Pyne, Marsh, & Hooper (2006) miden el sprint en jugadores de rugby en 60-m, Darrall-Jones, Jones, & Till (2016) lo miden hasta 40-m y Green, Blake, & Caulfield (2011) lo miden en 30-m. Otros autores realizaron tests de velocidad máxima de sprint en jugadores de fútbol con distancias de 10 y 20-m (Emmonds et al., 2016). Esta falta de acuerdo en los protocolos de medición de la velocidad de sprint, todavía más acentuado si lo referimos a cada edad en el proceso de formación de los jugadores de rugby, nos lleva a la necesidad de intentar establecer en que distancia alcanzan los jugadores de rugby de diferentes edades su velocidad máxima. De esta forma, podremos determinar la fase de carrera en la que los jugadores están acelerando, la distancia a la que alcanzan su velocidad máxima, y también poder relacionar la velocidad alcanzada con su masa corporal, estableciendo el momento lineal que consigue el jugador, factor que se ha visto determinante a la hora de superar directamente al oponente cuando intentan detenerlo (Baker & Newton, 2008).

4.3 Análisis de las diferencias en el juego por puestos

El juego por posiciones, en el rugby, está dividido en dos sub-unidades, generalmente nombrados como delanteros y backs (Duthie, Pyne, & Hooper, 2003). Existen a su vez diferentes funciones dentro de cada subunidad y entre ellas. Los delanteros se conforman con 8 jugadores que forman parte de formaciones fijas (scrums y line-outs) y los backs se completan con 7 jugadores, los cuales participan de un mayor número de acciones de juego abierto (Darrall-Jones et al., 2016). Dentro de cada puesto, se requiere una combinación específica de destrezas como pase, sprint, tackle, ruck, maul y scrum, además cada puesto se caracteriza por un perfil funcional específico en cuanto a potencia aeróbica, velocidad, fuerza y agilidad, y por un perfil antropométrico único y distintivo (Fontana et al., 2017). De todos modos, los jugadores deben participar de situaciones de juego de contacto con acciones isométricas-estáticas que pueden transformarse en empujes y tracciones, como son los *rucks*, *mauls* y *tackles* (Darrall-Jones et al., 2016; Reardon et al., 2015). Son este tipo de situaciones de juego las que pueden hacer que se mantenga o se pierda la posesión del balón, y de esta manera lograr darle continuidad al juego. Los delanteros llegan a completar un mayor tiempo de trabajo en acciones de rucks, mauls, tackles en comparación con los backs (7-min 56 segundos (s) \pm 1-min 56 s vs. 1-min 19 s \pm 0-min 26 s), pero son los backs quienes recorren mayores distancias totales,

siendo un 35.4% a velocidad de sprint (Darrall-Jones et al., 2016). Otros autores (Austin et al., 2011; Reardon et al., 2015) determinaron que no existen diferencias entre las distancias recorridas a velocidad de sprint entre delanteros y backs (547 ± 55 m y 558 ± 282 m, respectivamente), pero esto podría deberse principalmente a que los delanteros que fueron comparados eran terceras líneas, una posición muy exigida en acciones de trabajo que podrían compararse con los backs, como ser apoyo permanente en el juego abierto, ser portadores de balón para ganar metros y penetrar las defensas. Según Wheeler & Sayers (2009) en un análisis de la posición de juego y el resultado del ataque indicaron que los backs externos alcanzaron el mayor porcentaje de quiebres de tackles y portación de balón en comparación con las demás posiciones, pero que los terceras líneas (delanteros) también alcanzaron valores cercanos en esos rubros.

Siguiendo en la línea de intentar comprender cuáles son las exigencias del juego relacionadas con la posición en el campo y la VMS, en un trabajo realizado sobre las demandas físicas en la liga de rugby Super 14, pudieron determinar que los delanteros realizan sprints más cortos en promedio (14-16 m) en relación con los backs (17-18 m) (Austin et al., 2011). En esa misma línea, Roberts, Trewartha, Higgitt, El-Abd & Stokes (2008) en un estudio en la liga inglesa de rugby, donde el estilo de juego es más lento y friccionado que en el Súper 14, hallaron que los delanteros realizaban en promedio sprints de entre 6-9 m y los backs alcanzaban en promedio entre 13-15 m. En el Súper 14, los backs, realizan un 20% del total de sprints por encima de 20-m y un 8% supera los 30-m (Austin et al., 2011). En ese sentido, Suárez-Arrones et al. (2012) reportaron datos similares en distancia de sprints de 14.7 ± 2.5 m y 19.5 ± 3.9 m para delanteros y backs respectivamente, y VMS promedio alcanzadas de 24.6 ± 1.5 km·h⁻¹ (delanteros) y 28.2 ± 2.5 km·h⁻¹ (backs). En jugadores de rugby senior de elite, se encontraron grandes diferencias entre las velocidades alcanzadas y las distancias recorridas durante el juego en backs (6-8 m·s⁻¹, distancia recorrida entre 430-460 m) y delanteros (6-8 m·s⁻¹, distancia recorrida entre 150-350 m), según han reportado Quarrie, Hopkins, Anthony, & Gill (2013). Luego a velocidades superiores a 8 m·s⁻¹, los backs recorrieron entre 90-140 m y los delanteros entre 30-60 m, estos datos reportados por Quarrie et al. (2013), son similares a las velocidades reportadas por Suárez-Arrones et al. (2012).

Para continuar remarcando estas diferencias posicionales, en un trabajo sobre los patrones de sprint en jugadores de rugby, se hallaron importantes diferencias entre los desplazamientos realizados por los delanteros y los backs, resaltando que los primeros se

mueven a altas intensidades un 14% del tiempo total de juego y sólo un 4% del tiempo realizando sprints, y los backs recorren un 6% del tiempo total de juego a altas intensidades y un 25% a velocidad de sprint (Duthie, 2006). Estos datos resaltan la importancia de la VMS y la aceleración en relación con las posiciones de juego, lo cual indicaría que la aceleración es un componente de la velocidad más importante para los delanteros y que para los backs la VMS sería más determinante. Esto justificaría la importancia de programar entrenamientos con mayor especificidad, según las diferentes posiciones para lograr priorizar diferentes programas de acondicionamiento físico y que los deportistas sean capaces de realizar las tareas específicas de su puesto durante el juego (Haugen et al., 2014).

Se han reportado también diferencias en la manera en que inician los sprints los jugadores de rugby (Ziv & Lidor, 2016), los delanteros (41% partida detenida y 21% caminando) en relación con los backs (29% partida detenida y 14% en carrera), y estos datos coinciden al compararlos con los reportados en otro estudio (Duthie et al., 2006). Asimismo, esto parece indicar que para los delanteros es más frecuente iniciar los sprints en partida detenida o caminando, lo cual remarca la importancia de mejorar la capacidad de aceleración y momento lineal para vencer en los contactos en estas posiciones, y para los backs es más frecuente iniciar los sprints en movimiento, lo que les permitirá alcanzar su VMS más rápidamente y con mayor frecuencia.

Un estudio que analizó el impacto de la posición de juego y su relación con la fatiga en jugadores de rugby, concluyó que los delanteros decayeron en su rendimiento progresivamente a lo largo del partido, mientras que los backs pudieron mantener la intensidad de rendimiento con lo cual estos hallazgos reflejan diferentes exigencias físicas, especialmente en situaciones de contacto y las demandas de carrera de los jugadores en diferentes posiciones (Tee et al., 2019).

4.4 Métodos de Entrenamiento de la velocidad: Resistido vs Tradicional

El entrenamiento de sprint a través del método resistido (MR), es tradicionalmente visto como un medio para mejorar la velocidad y la aceleración en la carrera (Harrison & Bourke, 2009). Existen diversas modalidades de MR que pueden involucrar al atleta corriendo con una carga adicional usando un trineo cargado, un chaleco o un paracaídas, o en dunas de arena (Harrison & Bourke, 2009). El uso del MR utilizando trineos de arrastre (RST) como herramienta de entrenamiento para mejorar la aceleración de los

deportistas ha recibido gran atención, sin embargo, su efectividad para desarrollar esta capacidad aún no está del todo clara (Alcaraz et al., 2018; Petrakos et al., 2016; West et al., 2013).

El entrenamiento de velocidad de sprint con el MR en comparación con el método tradicional sin carga añadida (MT) ha demostrado diferencias significativas entre las dos condiciones en los ángulos del tronco, muslo y rodilla, concluyendo que el uso de trineos de arrastre y chalecos en la carrera de sprint tienen diferentes efectos sobre la cinemática y por lo tanto cambian la sobrecarga experimentada por los grupos musculares (Cronin, Hansen, Kawamori, & McNair, 2008). Previamente se han investigado los efectos de 4 protocolos de entrenamiento (MR, pliométrico, entrenamiento de fuerza) en comparación con el MT para analizar los cambios en cinemática de la fase de aceleración, fuerza y potencia en atletas de deportes de conjunto (Lockie et al., 2012). En este mismo estudio, Lockie et al., (2012) reportaron que administrado correctamente, cada protocolo de entrenamiento puede ser eficaz en la mejora de la aceleración. Según Bachero-Mena & González-Badillo (2014) se requieren estudios futuros para definir la carga y el volumen óptimos para la utilización del RST, del cual dependerán los componentes específicos del rendimiento del sprint que son objetivo del entrenamiento. Asimismo, consideramos que también es importante el tipo de deporte y puesto específico del deportista. Bachero-Mena & González-Badillo (2014) estudiaron el efecto de RST con 3 cargas diferentes (5, 12.5 y 20% PC) en jóvenes estudiantes y los cambios sobre un sprint de 40-m, y concluyeron que, dependiendo de la magnitud de la carga utilizada, los efectos positivos se alcanzarán en diferentes fases de los 40-m. Específicamente, en jugadores de rugby, Harrison & Bourke (2009), utilizaron una carga del 13% PC y una distancia 30-m para analizar los efectos del RST sobre la velocidad de sprint y la fuerza dinámica de miembros inferiores, y concluyeron que podría ser beneficioso emplear protocolos de entrenamiento resistido con el objetivo de incrementar la capacidad de aceleración desde un arranque estático. Harrison & Bourke (2009) reportaron una disminución significativa en el tiempo hasta 5-m para el sprint de 30-m ($p < 0.05$), e incrementos en fuerza inicial y altura de salto en el drop jump ($p < 0.01$) para el grupo de RST. En otro estudio con jugadores de rugby profesional se concluyó que el entrenamiento de sprint utilizando el MT y RST puede mejorar los tiempos de carrera en 10 y 30-m, sin embargo, RST provocó mayores mejoras (West et al., 2013).

La utilización de una carga adecuada es en la actualidad una incógnita, especialmente en deportes de conjunto como el rugby. De acuerdo con Behrens & Simonson (2011) el MR es específico del deporte porque desarrolla la fuerza en los músculos que se utilizan para correr, y la utilización de una carga adecuada sería requisito necesario para producir el estímulo de entrenamiento buscado sin alterar la técnica del sprint. Esto concuerda con lo expuesto por Bachero-Mena & González-Badillo (2014) y apoyado recientemente por una revisión sistemática (Alcaraz et al., 2018), quienes señalaron que la carga óptima para el entrenamiento de sprint aún no se ha establecido en RST, aunque se ha sugerido que una resistencia que reduzca la velocidad del atleta en más del 10% respecto del sprint sin carga, implicaría cambios sustanciales en la mecánica de carrera. Las recomendaciones típicas de los entrenadores es utilizar cargas relativamente ligeras, ya que las cargas excesivamente pesadas podrían distorsionar la mecánica de carrera y ser perjudicial para el rendimiento de velocidad de sprint (Alcaraz, Palao, & Elvira, 2009; Lockie, Murphy, & Spinks, 2003). Cuestionando esta última afirmación, en un estudio se utilizaron dos tipos de cargas diferentes (“liviano” vs “pesado”) que redujeron en 10% y 30% el tiempo del mejor sprint sobre 10-m (Kawamori, Newton, Hori, et al., 2014). Según Kawamori et al. (2014) el grupo “pesado” mejoró significativamente el tiempo de sprint en 5-10 m ($p < 0.05$), mientras que el grupo “liviano” sólo mejoró el tiempo de sprint en 10-m ($p < 0.05$). Comparando los efectos de un programa de entrenamiento en jugadores de fútbol, rugby y fútbol australiano, utilizando MR y MT, investigadores (Spinks et al., 2007) han reportado que ambos métodos son igualmente efectivos para el rendimiento en sprint, remarcando además que, el MR de entrenamiento proporciona un estímulo (carga) a la mecánica de aceleración y al reclutamiento de los extensores de cadera y rodilla, lo que resulta en una mayor aplicación de fuerza horizontal. Más recientemente, otro estudio realizado con velocistas y saltadores (Loturco et al., 2017), indicó que los atletas más rápidos sobre un sprint de 60-m, obtuvieron mejores resultados en las pruebas de fuerza-potencia (squat jump, CMJ, drop jump, y media sentadilla) tanto en condiciones de carga como sin carga adicional, confirmado por las fuertes correlaciones observadas entre la velocidad y la potencia obtenidos en los tests. De acuerdo con Loturco et al. (2017), estos últimos resultados estarían remarcando la noción que VMS es una capacidad física muy compleja, que debe ser evaluada y entrenada usando varios métodos y estrategias de entrenamiento. Finalmente, algunos autores reportaron los efectos agudos del RST con cargas pesadas (75% y 150 PC), indicando que éstas podrían tener un efecto positivo de potenciación

sobre el rendimiento del sprint realizado posteriormente siempre y cuando se apliquen las pausas adecuadas (Winwood et al., 2016).

El MR es un método novedoso con potencial para mejorar el rendimiento de sprint, pero sus beneficios de rendimiento por sobre el MT aún deben demostrarse de manera concluyente, ya que las comparaciones entre estudios están limitadas principalmente por discrepancias en la condición física, fase de entrenamiento de los sujetos, y la prescripción de la carga (Petrakos et al., 2016). En efecto, se ha sugerido que la prescripción de carga de entrenamiento basada en la disminución en la velocidad de carrera puede ser el mejor enfoque para determinar la carga para los atletas en la utilización del MR (Winwood et al., 2016). En un estudio reciente Carlos-Vivas et al. (2019) han presentado una nueva herramienta para individualizar la carga de entrenamiento de sprints resistidos con chalecos, lo cual desde un punto de vista práctico representa un novedoso aporte a los profesionales del área y facilita la prescripción de cargas de entrenamiento a lo largo de la temporada. De todas maneras, pese a los avances que se han ido consiguiendo a lo largo del tiempo, no existe claridad tanto en la carga óptima de entrenamiento, ni en los efectos que provoca cada método en el rendimiento físico y deportivo.

4.4.1 Evaluación del rendimiento de sprint mediante electromiografía, variables cinemáticas y stiffness.

El RST es un método novedoso con potencial para mejorar el rendimiento del sprint, aunque los efectos agudos al comparar la EMG de los principales grupos musculares involucrados y la cinemática durante el sprint aún deben demostrarse de acuerdo con las diferentes condiciones de carga. La utilización de EMG puede proporcionar información sobre la actividad muscular que puede ser útil para examinar los cambios a través de los incrementos en la velocidad de la carrera o la fatiga muscular (Howard, Conway, & Harrison, 2018). Recientemente Hegyi et al., (2019), han reportado que conforme se aumentó la velocidad de carrera, la actividad EMG aumentó en todas las regiones del Biceps femoral de cabeza larga (BF_{lh}) y Semitendinoso. En esa misma línea, se ha demostrado que a velocidades altas, la activación media del GAS, vasto lateral (VL), BF_{lh} y glúteo mayor (GMáx) excedieron el 100% de su contracción máxima voluntaria medida durante una acción isométrica máxima (Kyröläinen et al., 2005). La importancia de la activación EMG de los músculos biarticulares (BF, Semitendinoso y Semimembranoso,

RF) radica en que contribuyen a la transferencia de potencia desde la inserción proximal a las articulaciones distales y luego de éstas al suelo durante el contacto del pie (Kyröläinen et al., 2005). Por lo tanto, debemos considerar la gran relevancia que adquieren estos grupos musculares a medida que se incrementa la velocidad en la carrera, especialmente durante un sprint máximo o incluso con cargas añadidas (RST), ya que podrían observarse alteraciones importantes en los patrones de activación EMG de los principales grupos musculares involucrados en el gesto. Según han planteado previamente Kyröläinen et al. (2005), los músculos biarticulares realizan un trabajo excéntrico durante la fase de oscilación y concéntrico durante toda la fase de contacto del pie con el suelo. En atletas especialistas en velocidad, Higashihara, Nagano, Takahashi, & Fukubayashi, (2015) han mencionado que existe la posibilidad de sufrir lesión por tensión muscular de los isquiotibiales cuando se incrementa la inclinación del tronco (TA°) durante la fase de apoyo.

En ese mismo sentido, se ha demostrado que el TA° aumenta con el incremento de carga durante RST tanto en el momento de apoyo del pie como en el despegue, con ángulos que son significativamente mayores que los observados durante el sprint sin carga añadida (Cronin et al., 2008). Con respecto a las variables cinemáticas, un aumento en la carga durante el RST tiende a disminuir la velocidad de sprint, el tiempo de vuelo (FT) y la amplitud de zancada (SL) (Alcaraz, Elvira, & Palao, 2014; Monte, Nardello, & Zamparo, 2017). Por ejemplo, en una revisión reciente (Alcaraz et al., 2018), se reportó una disminución de SL y en la velocidad con una carga RST de 16% del PC pero sin cambios significativos en la técnica de carrera, e incluso estos autores mencionan una disminución en FT y SL, junto con un aumento del tiempo de contacto (CT) en función del incremento de la carga del trineo. Contrariamente, según Petrakos et al. (2016) el incremento en CT (en función del incremento de carga en RST) permitiría a los atletas una mayor aplicación de fuerza horizontal en cada paso, pero no alcanzar altas velocidades.

Respecto de K_{leg} de los miembros inferiores, Lorimer et al. (2018) han indicado que proporciona un medio para evaluar la influencia de la cinética y la cinemática en los tejidos durante la carrera. Según Nagahara & Zushi (2017), K_{leg} es de extrema importancia para mejorar el rendimiento de la velocidad máxima de sprint. Por lo tanto, es importante destacar que valores bajos de K_{leg} han sido asociados con la fatiga (Padua et al., 2006) y con una ineficiente absorción y almacenamiento de energía elástica durante

el ciclo de estiramiento-acortamiento (Butler et al., 2003). Las modificaciones en la frecuencia de zancada (SF) parecen ser un factor indirecto que influye en K_{leg} , a través de su efecto en CT, por lo que podría considerarse un determinante importante durante la carrera (Morin, Samozino, Zameziati, & Belli, 2007). Respecto de lo mencionado anteriormente, entendemos que existe una estrecha relación entre las diferentes variables cinemáticas, K_{leg} y la actividad EMG durante la carrera y por ende podemos pensar que mediante el entrenamiento RST, el incremento de la carga podría tener efectos positivos o negativos según la carga seleccionada. En ese sentido, Spinks et al. (2007) identificaron un mayor aumento pre- y post-intervención en TA° y K_{leg} después de un período de entrenamiento RST como factores clave en la mejora de la capacidad aceleración en comparación con un grupo que entrenó sin carga añadida. En definitiva, es realmente necesario comprender que las adaptaciones cinéticas, cinemáticas y neuromusculares entre MR y MT son diferentes (Petrakos et al., 2016), con lo cual la selección adecuada del método, carga añadida y distancia a entrenar se vuelven cruciales para lograr incrementar el rendimiento físico de los deportistas. De acuerdo con una reciente revisión (Howard et al., 2018), muchos estudios han investigado la actividad muscular mediante EMG durante la carrera a distintas velocidades, pero no hemos hallado investigaciones que hayan estudiado los efectos del RST con diferentes cargas en la actividad muscular, K_{leg} y variables cinemáticas tanto en fase de aceleración como de máxima velocidad en jugadores de rugby.

4.5 Importancia del entrenamiento de la fuerza y la potencia en el rugby

Una de las cualidades más importantes del músculo esquelético es la capacidad de generar potencia, que es el producto entre la fuerza y velocidad del movimiento (Kraemer & Newton, 2000). La naturaleza del juego moderno requiere que los jugadores sean fuertes para tacklear con éxito, ágiles para evadir rápidamente la oposición, tener una alta resistencia cardiovascular para mantener el rendimiento durante más de 80 minutos y tener capacidades de producción de fuerza rápida para acelerar y tacklear (Furlong et al., 2019). En el rugby, se admite la disputa por el balón después de tacklear, lo que resulta en acciones con una posición del cuerpo baja y donde predomina la fuerza (Cross et al., 2015), aunque también requiere ser capaz de soportar colisiones de alto impacto junto con esfuerzos estáticos intensos y otros movimientos indispensables para poder competir (Takamori et al., 2020).

Respecto del entrenamiento de fuerza, se ha demostrado que mayores niveles de fuerza muscular están asociados a mejoras en las características fuerza-tiempo, en el rendimiento de las habilidades deportivas en general (saltos, carreras de velocidad y cambios de dirección) y específicas, pero también está asociado con mejoras en los efectos de potenciación y una reducción en la tasa de lesiones (Suchomel et al., 2016). En esa misma línea, algunos autores (Baker & Newton, 2008) han indicado que los objetivos del entrenamiento con jugadores de rugby deben enfocarse en incrementar los niveles de fuerza y potencia en miembros inferiores y la masa corporal, además de intentar mantener o mejorar la velocidad del sprint en 10-m. De esta manera, podríamos proporcionar a los deportistas las características necesarias para maximizar el rendimiento en el rugby de élite. Se ha demostrado que el entrenamiento de fuerza en miembros inferiores con jugadores de rugby adolescentes, provoca no sólo incrementos en los niveles de fuerza sino que puede también transferirse a un mejor rendimiento en el sprint (Harries et al., 2017). Algunos estudios han reportado altas correlaciones entre la sentadilla y el sprint (McBride et al., 2009; Wisløff et al., 2004), e incluso se ha sugerido que aumentar la fuerza en miembros inferiores es fundamental cuando se intenta mejorar el rendimiento del sprint (Seitz et al., 2014).

El entrenamiento pliométrico provoca una variedad de efectos fisiológicos y adaptaciones, tanto estructurales como neurales, e incluso cambios en el tamaño y arquitectura muscular (Booth & Orr, 2016). Existen numerosos estudios que han investigado los efectos de un programa de entrenamiento pliométrico y de fuerza sobre el rendimiento en sprint y agilidad (Franco-Márquez et al., 2015; Loturco et al., 2017; Sáez de Villarreal et al., 2015), en todos ellos se ha demostrado un efecto positivo sobre rendimiento en la velocidad. Según Furlong et al. (2019) la capacidad de salto y los sprints largos (> 30 m), están fuertemente influenciados por la capacidad del ciclo estiramiento-acortamiento. Por lo tanto, debemos considerar la importancia que tiene en el rendimiento la producción de fuerza, la velocidad y la capacidad de salto. En esa línea, según Harries, Lubans, & Callister (2016) las características físicas y el nivel de juego que demuestran los jugadores de rugby de élite son superiores en cuanto a niveles de fuerza, potencia, velocidad, altura y masa corporal en comparación con los jugadores de nivel inferior.

4.6 Introducción al Perfil Fuerza-velocidad de salto

El método propuesto por algunos investigadores (Samozino, Morin, Hintzy, & Belli, 2008), basado únicamente en la medición de tres variables simples (masa corporal, altura del salto y distancia de empuje), permite evaluar con precisión la fuerza, la velocidad y la potencia desarrolladas por los músculos extensores de las extremidades inferiores durante el salto desde sentadillas (SJ) en condiciones de campo. Además de ser un test simple, y de bajo coste, cuya reproducibilidad y fiabilidad han sido reportadas oportunamente (Janicijevic et al., 2019; Samozino et al., 2008). De acuerdo con Samozino et al. (2014), existen infinitas combinaciones entre fuerza y velocidad para una misma $P_{\text{máx}}$, de manera que dos sujetos capaces de desarrollar la misma $P_{\text{máx}}$ pueden tener diferentes capacidades de producción de fuerza máxima teórica (F_0 , fuerza máxima isométrica teórica) o de velocidad máxima teórica (V_0 , velocidad de despegue en el salto). El grado de contribución de fuerza y velocidad depende del perfil mecánico Fv individual de todo el sistema neuromuscular del tren inferior. De esto se desprende la necesidad de identificar las capacidades mecánicas de los miembros inferiores para desarrollar un impulso máximo durante los movimientos explosivos tales como el salto y el sprint, capacidades que hemos visto que son determinantes para el rendimiento deportivo en cualquier disciplina (Kraemer & Newton, 2000; Seitz et al., 2014). Según Samozino, Morin, Hintzy, & Belli (2010), para la determinación del perfil Fv se debe tener en cuenta la dinámica de movimiento del centro de masas durante el salto desde sentadillas (F_0 , V_0 , h_{PO} -distancia de empuje durante el salto-) y los límites mecánicos externos del conjunto del sistema neuromuscular en miembros inferiores.

Diseñar protocolos que permitan la determinación del perfil Fv óptimo en condiciones experimentales específicas relacionadas con el deporte podría ser una perspectiva interesante para evaluar con precisión el nivel de optimización de las capacidades neuromusculares de un atleta (Giroux et al., 2016). El salto SJ es un movimiento máximo, balístico y acelerado que representa las capacidades musculares requeridas en numerosos deportes. En efecto, se ha demostrado que el rendimiento de sprint está fuertemente correlacionado con el rendimiento de salto y estas variables podrían utilizarse poder para predecir rendimiento de sprint en distancias cortas ($< 30\text{-m}$) en jugadores de rugby (Furlong et al., 2019). Para cada individuo, existe un perfil Fv “óptimo” que puede ser determinado con precisión y representa el equilibrio entre sus capacidades de fuerza y velocidad (Jiménez-Reyes, Samozino, & Morin, 2019; Samozino

et al., 2012). Para una $P_{\text{máx}}$ dada, un desequilibrio entre las cualidades de fuerza y velocidad podría llevar hasta un 30% de pérdida de rendimiento en la capacidad de salto (Samozino et al., 2014). La pérdida de rendimiento en función del desequilibrio determinado, indicaría que tan alejado (expresado en % del “actual”) está un deportista de su perfil “óptimo”. Esta pérdida de rendimiento, por tanto, viene determinada por la diferencia que existe entre el perfil Fv “actual” y “óptimo”, que determinaría lo que se denomina como desequilibrio o Fvimb (Jiménez-Reyes, Samozino, Brughelli, & Morin, 2017; Jiménez-Reyes et al., 2019; Samozino et al., 2012). Consecuentemente, considerar la $P_{\text{máx}}$ y Fvimb resulta ser de gran interés para explorar el rendimiento balístico y acercarse a la optimización del entrenamiento deportivo.

4.6.1 Perfil Fuerza-velocidad de salto y rendimiento físico y deportivo

Algunos autores consideran que, para el éxito de muchas actividades deportivas, es muy importante la capacidad de acelerar rápidamente el cuerpo desde una posición de estática, esto es, conseguir altos niveles de velocidad en el menor tiempo posible (Giroux, Guilhem, Couturier, Chollet, & Rabita, 2015; Morin, Edouard, & Samozino, 2011; Samozino et al., 2016). En el contexto del rendimiento deportivo, la capacidad de un sujeto para producir elevados niveles de potencia es lo que diferencia a los atletas de élite de los meramente buenos, y esto se ha evidenciado en actividades explosivas, como carreras de velocidad, ciclismo, y deportes de combate (Giroux, Rabita, Chollet, & Guilhem, 2016). El éxito en este tipo de actividades ha estado estrechamente relacionado con la $P_{\text{máx}}$ que pueden desarrollar las extremidades inferiores (Samozino et al., 2014). Tal desempeño también está influenciado por los perfiles Fv y velocidad-potencia clásicamente inferidos de la evaluación de la fuerza, la velocidad y la producción de potencia en un amplio rango de magnitudes de carga (Giroux et al., 2015).

Las diferentes características respecto del puesto específico entre delanteros y backs han sido estudiadas ampliamente por diversos autores (Darrall-Jones et al., 2016; Reardon et al., 2015), aunque no existen estudios recientes respecto de la evaluación y determinación del perfil Fv en relación al puesto específico con jugadores de rugby. Según Cross et al. (2015) tanto entrenadores como profesionales del deporte involucrados en el desarrollo de jugadores de rugby deben considerar el desarrollo de un perfil Fv de fuerza dominante para mejorar las capacidades de aceleración, particularmente sobre distancias menores a 5-m. Hansen, Cronin, Pickering, & Douglas (2011), sostienen que

para el desarrollo de la velocidad de sprint en jugadores de rugby, las estrategias de entrenamiento deben apuntar a optimizar la relación potencia-peso ($W \cdot kg^{-1}$) del atleta, y que el entrenamiento de fuerza de miembros inferiores debe enfocarse en la velocidad de ejecución del movimiento. En jugadores de rugby league, algunos autores resaltaron la importancia de la capacidad de acelerar de forma efectiva para lograr sobrepasar a un oponente en los primeros metros, esto sugiere que la capacidad de aceleración puede ser mucho más importante que la velocidad máxima de sprint para lograr el éxito en estos deportes (Comfort et al., 2012).

Los saltos máximos apuntan a cubrir la mayor distancia vertical y/o horizontal a partir de una gran capacidad de aceleración del cuerpo durante una extensión máxima de los miembros inferiores (Samozino et al., 2010). Durante un salto vertical, la velocidad alcanzada en el despegue está determinada por el impulso mecánico (producto de la fuerza ejercida contra el suelo y el tiempo durante el cual se aplica la fuerza) y esta capacidad está relacionada con la potencia que un músculo puede producir durante su acortamiento, definida como el producto de la fuerza que ejerce y la velocidad a la que se acorta (Giroux, Rabita, Chollet, & Guilhem, 2014). La comparación del perfil Fv “actual” con un perfil “óptimo” teórico podría ayudar a identificar qué componente, si la fuerza o la velocidad se debe priorizar para aumentar la potencia y mejorar el rendimiento (Giroux et al., 2016). Según Giroux et al. (2016) la práctica sistemática de una actividad conduce a perfiles de fuerza-velocidad equilibrados de forma diferente, y se ha demostrado que la reducción de las diferencias entre los perfiles Fv “actuales” y “óptimos” podrían incrementar las potenciales mejoras del rendimiento en atletas de élite. Según plantean Samozino et al. (2012), la mejora del rendimiento balístico se puede alcanzar incrementando $P_{m\acute{a}x}$, lo que significa modificar el perfil Fv lo más cercano posible al “óptimo” teórico. Un atleta que presente un perfil Fv con desequilibrio en favor de la fuerza (Fimb) debería mejorar sus capacidades de velocidad poniendo énfasis en esfuerzos a máxima velocidad con cargas ligeras ($\leq 30\% 1RM$), este tipo de entrenamiento reorientaría dicho perfil hacia la velocidad, y movilizand o cargas elevadas ($\geq 75-80\% 1RM$), se mejorarían las capacidades de fuerza optimizando el perfil “actual” (Samozino et al., 2012). En ambos casos, es probable que: (i) aumente $P_{m\acute{a}x}$ y (ii) se optimice el perfil Fv (una reorientación hacia el “óptimo”), corrigiendo total o parcialmente los Fvimb (Samozino et al., 2012). En efecto, ha sido demostrado que estos dos cambios dan como resultado un mayor rendimiento en la capacidad de salto (Jiménez-Reyes et al., 2017, 2019). En términos

prácticos, si se diseña un programa de entrenamiento para mejorar el rendimiento de empuje vertical de los atletas (saltos, push-offs máximos, cambios de dirección), se debe enfocar en aumentar $P_{\text{máx}}$ y/o disminuir F_{vimb} (Morin & Samozino, 2016). Por lo tanto, se sugiere para los atletas que muestran un F_{vimb} significativo en las capacidades mecánicas, programas de entrenamiento individualizados que prioricen el entrenamiento de la capacidad mecánica en desajuste para cambiar el perfil “actual” hacia el “óptimo” teórico (Morin & Samozino, 2016).

El desarrollo de la fuerza concéntrica es crítico para el rendimiento en acciones de inicio de sprint (aceleración) y, en consecuencia, la potencia máxima de salto concéntrico está estrechamente relacionada con la capacidad de aceleración (Furlong et al., 2019; Sleivert & Taingahue, 2004). Al investigar la relación entre la fuerza y el rendimiento del sprint, se usaron varios medios diferentes para evaluar la fuerza, incluyendo máquinas isocinéticas, sentadillas con máquina y sentadillas con peso libre (Comfort et al., 2012). Las correlaciones más importantes entre velocidad de sprint y fuerza se hallaron cuando la fuerza fue evaluada en sentadillas con peso libre en la fuerza absoluta ($r^2 = 0.94$; $p < 0.05$) y esto podría explicarse por el hecho que las fuerzas de reacción del suelo y el impulso mecánico, han demostrado ser fuertes determinantes del rendimiento en sprint (Comfort et al., 2012). Un trabajo reciente ha demostrado una buena correlación ($r^2 = 0.81$) entre saltos verticales y horizontales con la velocidad de sprint sobre 50-m en velocistas de élite (Loturco et al., 2015). Incluso Morin et al. (2012) han destacado la importancia de tener un perfil F_v orientado a la velocidad para el rendimiento de sprint con velocistas. Incluso varias investigaciones han reportado una correlación importante entre sprint, fuerza y capacidad de salto para el rendimiento en atletas (Bachero-Mena et al., 2017), jugadores de rugby (Cronin & Hansen, 2005; Furlong et al., 2019) y rugby league (Cunningham et al., 2013). Esto último podría explicarse debido a que muchas de las adaptaciones neurales y fisiológicas observadas con el entrenamiento de fuerza y pliométrico coinciden con las del entrenamiento de velocidad (Ross et al., 2001). De acuerdo con Seitz et al. (2014), existe una transferencia positiva del entrenamiento de fuerza hacia el rendimiento en velocidad de sprint. Comfort et al. (2012) reportaron incrementos absolutos y relativos en sentadilla ($p < 0.001$), que se vieron reflejados en la disminución en los tiempos de sprint sobre 5, 10 y 20-m ($p < 0.001$) luego de un período de entrenamiento de fuerza de 8 semanas en jugadores de rugby league. Siguiendo a Seitz et al. (2014), la mejora del rendimiento depende básicamente de dos puntos clave: i) la

magnitud de la mejora del sprint se vería afectada por el nivel y la masa corporal de los atletas, la frecuencia de entrenamiento de fuerza y el intervalo de descanso entre series, repeticiones y ejercicios; ii) la mejora en el rendimiento del sprint a través del entrenamiento de fuerza es de relevancia práctica para entrenadores y atletas en actividades deportivas que requieren un alto nivel de velocidad, especialmente en distancias cortas y medias (< 30-m).

Tanto los entrenadores como los preparadores físicos deberían unificar esfuerzos, para determinar y analizar no sólo el perfil Fv sino el Fvimb de los deportistas para y de esta manera intentar establecer cuáles son los efectos reales que provoca este método de entrenamiento sobre el rendimiento de los jugadores de rugby. Poder prescribir el entrenamiento con mayor precisión, además de determinar la individualización de los programas de entrenamiento en función de las necesidades reales del deportista es una de las claves del éxito en el deporte. Tal como hemos mencionado anteriormente, esto aún no ha sido llevado a cabo con jugadores de rugby, y consideramos que podría aportar importantes avances y aplicaciones prácticas para el desarrollo de nuevos métodos de entrenamiento orientados a la mejora de la velocidad de sprint en este deporte.

Según lo que hemos expuesto anteriormente, la velocidad de sprint es uno de los factores más determinantes del rendimiento físico en cualquier jugador de rugby, independientemente de su posición de juego, pero también entendemos que se desconocen cuáles son los métodos de evaluación y entrenamiento que aportan mayores mejoras para los deportistas. Consideramos de gran relevancia analizar los cambios en la velocidad de sprint tras realizar un entrenamiento específico de fuerza y velocidad basado en el perfil Fv según el Fvimb individual de cada deportista. Finalmente, también resulta fundamental, el análisis de los efectos de en el rendimiento a través del entrenamiento propuesto sobre la capacidad de salto y la fuerza en sentadilla, ya que se ha mencionado que ambas acciones están fuertemente relacionados con la velocidad de sprint (Bachero-Mena et al., 2017; Loturco et al., 2015; Seitz et al., 2014).

V. PUBLICACIONES: ARTÍCULO I



5. Artículo I: Evaluación de la velocidad de sprint y momento lineal en jugadores de rugby según la edad y puesto de juego durante el período competitivo

5.1 Introducción

La velocidad de sprint es un factor clave en el desarrollo y el rendimiento de una variedad de deportes individuales y de equipo (Alcaraz et al., 2018). Además, la capacidad de acelerar rápidamente es un aspecto crítico del éxito deportivo (Healy et al., 2016). El rugby es un deporte de carácter intermitente que involucra situaciones de contacto en las que el rendimiento de velocidad, agilidad y resistencia podría hacer que los jugadores superen a sus adversarios (Darrall-Jones et al., 2016; Smart et al., 2014; Suárez-Arrones et al., 2012). Aquellos jugadores que se destacan en velocidad tendrán una mayor capacidad para ganar la línea de defensa, romper tackles, evadir defensores y anotar ensayos con mayor frecuencia (Smart et al., 2014). Las posiciones de juego en rugby se dividen en a dos grupos o sub-unidades, generalmente nombradas como delanteros y backs (Duthie et al., 2003). Los delanteros tienen una mayor masa corporal, momento lineal (SM) y valores de velocidad menores respecto de los backs, y éstos a su vez están involucrados también en situaciones de juego más abierto (Darrall-Jones et al., 2016; Duthie et al., 2003; Nakamura et al., 2016). Los delanteros están involucrados más tiempo en acciones como *rucks*, *mauls* y *tackles* en comparación con los backs, pero estos últimos cubren mayores distancias a velocidad de sprint (Darrall-Jones et al., 2016). Otros autores (Austin et al., 2011; Reardon et al., 2015) reportaron que no había diferencias en las distancias cubiertas a velocidad de sprint entre delanteros y backs, aunque según Austin et al. (2011) han reportado que los delanteros realizan sprints más cortos en promedio cuando se los compara con los backs. De acuerdo con Gabbett (2012), las aceleraciones en rugby son diez veces más frecuentes que la velocidad máxima de sprint (VMS), y hay muy pocas ocasiones en las que los jugadores puedan correr portando el balón durante más de ~5 s sin ser tackleados o bloqueados. Los backs normalmente realizan un mayor número de aceleraciones que los delanteros, aunque estos últimos son los que, debido a su función en el equipo, tienen el mayor número de impactos de diferente intensidad por juego (Quarrie et al., 2013; Suárez-Arrones et al., 2012).

En el rugby, las acciones de contacto son aspectos clave y, por lo tanto, el momento lineal es uno de los factores más relevantes para el éxito deportivo (Baker & Newton, 2008). Según Baker & Newton (2008) SM inicial es el producto de la masa corporal y la velocidad de carrera (en los primeros 10-m), ya que es una distancia que los

jugadores suelen recorrer durante el juego. De acuerdo con Barr, Sheppard, Gabbett, & Newton (2014), el SM alcanzado en el intervalo de 30-40 m (máximo) es diferente al SM inicial alcanzado en el intervalo de 0-10 m. Luego, es importante remarcar que los jugadores con la capacidad de alcanzar altas velocidades de sprint y altos niveles de aceleración son los que podrán prevalecer en situaciones de contacto y dar el impulso necesario a sus equipos para avanzar hacia la meta del oponente, algo necesario y exigido por los entrenadores del rugby actual (Baker & Newton, 2008).

Con respecto al desarrollo de la aceleración y VMS según la edad, los sprints son movimientos clave y se consideran parte de la estructura básica de la mayoría de los deportes (Meyers et al., 2015). La velocidad máxima se desarrolla en los jugadores más jóvenes a medida que avanzan en edad debido a una interacción entre la longitud del paso y la frecuencia, ya que ambas variables están relacionados con los cambios que ocurren a esa edad (modificaciones en el tamaño del cuerpo y el pico de crecimiento en altura), según han mencionado Meyers et al. (2015). Con respecto a las características antropométricas, Pienaar & Coetzee (2013) han señalado que estas variables juegan un papel importante en el rendimiento de los jugadores de rugby e influyen en la determinación de los puestos de juego.

Para mejorar el rendimiento del sprint, los métodos de entrenamiento específicos producen mejores resultados en comparación con el entrenamiento general (Rumpf et al., 2016), pero debemos garantizar el uso de una distancia adecuada para mejorar el rendimiento. Una revisión de Simperingham, Cronin, & Ross (2016) reportó que los atletas de deportes de equipo rara vez alcanzan su VMS y que la evaluación de la velocidad debe centrarse en la fase de aceleración en los primeros 20-m. Previamente se ha planteado la necesidad de establecer la distancia requerida para alcanzar el pico de velocidad en jugadores de fútbol según las categorías de edad (Buchheit et al., 2012). Esos autores (Buchheit et al., 2012) concluyen que a una edad más temprana, un mayor porcentaje de jugadores alcanza su pico de velocidad en el intervalo de 10-20 m, mientras que los jugadores mayores requieren una mayor distancia para alcanzar su VMS (Buchheit et al., 2012). Por lo tanto, existe la necesidad de comprender que los programas de entrenamiento deben ser individualizados con respecto a la edad y las posiciones de juego, y a su vez esto permitiría a los preparadores físicos y entrenadores adaptar las distancias específicas necesarias para la evaluación de la velocidad de sprint en jugadores de rugby.

En los protocolos analizados, esta distancia varía entre 20 y 60-m (Buchheit et al., 2012; Darrall-Jones, Jones, & Till, 2015; Darrall-Jones et al., 2016; Green et al., 2011). En este sentido, y después de revisar la literatura científica, según nuestro conocimiento, no hemos encontrado un consenso en el rugby respecto de la distancia necesaria para alcanzar VMS en los jugadores de rugby durante su desarrollo, y tampoco existe claridad sobre cuál es la distancia óptima para evaluar la VMS. Por lo tanto, los objetivos de este estudio fueron: i) determinar la distancia necesaria para alcanzar la VMS en jugadores de rugby de acuerdo con las categorías de edad y la posición de juego; ii) establecer la distancia óptima para la evaluación de la velocidad del sprint y comparar las diferencias en las características antropométricas, rendimiento de sprint y SM según las categorías de edad y las posiciones de juego.

5.2 Material y Método

5.2.1 Participantes

Trescientos jugadores de rugby amateur ($n = 300$) se ofrecieron como voluntarios para participar en este estudio. Todos los participantes eran miembros de diferentes clubes de federaciones regionales de España, y pertenecientes a diferentes categorías de edad. Los grupos de edad se subdividieron siguiendo las reglas de la federación de rugby, de la siguiente manera: U14 ($n = 91$; edad: 12.69 ± 0.55); U16 ($n = 85$; edad: 14.82 ± 0.53), U18 ($n = 75$; edad: 16.67 ± 0.52) y Seniors ($n = 49$; edad: 24.16 ± 4.08). Todos los jugadores participan en promedio de ~ 4.5 horas de entrenamiento específico de rugby y una competencia por semana, independientemente de las categorías de edad. Todos los jugadores tenían al menos un año de experiencia de juego a nivel de club. En cuanto a los jugadores mayores, parte de ellos jugó al más alto nivel nacional ($n = 22$) y el resto ($n = 27$) participó en competiciones regionales, aunque todos juega a nivel amateur. El estudio cumplió con los estándares éticos y fue aprobado por un Comité de Ética de Investigación Institucional y se ajustó a las recomendaciones de la Declaración de Helsinki. Después de ser informados sobre el propósito y los procedimientos experimentales, los atletas firmaron un formulario de consentimiento informado antes de participar.

5.2.2 Diseño y Procedimientos

Se utilizó un diseño de estudio descriptivo, ya que sólo se recopilaron datos de los participantes en un momento específico. Los atletas realizaron dos sprints de 50-m en una cancha de rugby de césped natural, con cuatro minutos de recuperación entre cada

repetición para evitar la fatiga. Cada grupo fue evaluado en diferentes días en un período de 15 días, pero en la misma superficie y en idénticas condiciones. Todas las pruebas se realizaron al aire libre, en el mismo horario y bajo condiciones de clima seco. Se utilizaron células fotoeléctricas (Microgate Witty System, Bolzano, Italia) colocadas al inicio y a 10, 20, 30, 40 y 50-m. Se alentó a los participantes a correr los 50-m lo más rápido posible. Estas distancias fueron elegidas para permitir la evaluación de las capacidades de sprint (aceleración y VMS) tal como se ha mencionado previamente (Barr et al., 2014). Se consideró el mejor tiempo obtenido en los sprints de 50-m para realizar el análisis posterior. La prueba comenzó desde una posición de pie, colocando el pie delantero justo detrás de la línea, a 0.5-m de la primera marca. Se colocó una marca cinco metros más allá de la línea de meta y se alentó a los jugadores a no reducir la velocidad hasta que la hayan sobrepasado, para asegurar que mantuvieran la máxima velocidad posible hasta el final de la prueba. El protocolo de calentamiento consistió en 20-min de ejercicios de movilidad articular, trote ligero, carreras progresivas, cambios de dirección y terminó con progresiones de velocidad de 5 a 40-m. Se pidió a los participantes que evitaran hacer ejercicio el día anterior a la prueba y que no consumieran su última comida dentro de las 3 horas antes de la hora programada para la prueba. Los tiempos para cada intervalo se nombraron de la siguiente manera: intervalo de 10-20 m (T10-20m), intervalo de 20-30 m (T20-30m), intervalo de 30-40 m (T30-40m) e intervalo de 40-50 m (T40-50m); y los registros de tiempo acumulados de un intervalo al siguiente: intervalo de 0-10 m (T10m), intervalo de 0-20 m (T20m), intervalo de 0-30 m (T30m), intervalo de 0-40 m (T40m), intervalo de 50 m (T50m). La VMS se calculó a partir de la distancia de un intervalo (10-m) dividido por el registro de tiempo del mejor intervalo y luego se utilizó para obtener SM. SM máximo se obtuvo multiplicando VMS por la masa corporal del jugador y SM inicial se obtuvo multiplicando la velocidad del intervalo de 0-10 m por la masa corporal de los jugadores (Barr et al., 2014; Darrall-Jones et al., 2016). El coeficiente de correlación intraclase (ICC) y el coeficiente de variación (CV) de T10m, T20m, T30m, T40m y T50m fueron: 0.95 y 2.43%; 0.97 y 2.19%; 0.98 y 1.93%; 0.98 y 1.9%; 0.98 y 2.26%, respectivamente.

5.2.3 Análisis Estadístico

Todos los datos se presentan como media \pm DE para cada grupo de edad (U14, U16, U18 y Senior) y por posición de juego (Delanteros y Backs). Las estadísticas de Chi-cuadrado se utilizaron para establecer el intervalo en el que se alcanzó la velocidad máxima según

cada categoría de edad y posición. La prueba T de Student se utilizó para analizar las diferencias en los registros de tiempo de cada intervalo y el tamaño del efecto (ES) se estableció de acuerdo con la 'd' Cohen con un intervalo de confianza (IC) del 95%. Estas pruebas se realizaron con el software de estadísticas STATA v14 (StataCorp LLC). Para establecer diferencias en el rendimiento de las variables medidas, los datos se analizaron utilizando el método de magnitudes basado en inferencias (Hopkins et al., 2009). Las diferencias entre los grupos de edad y las posiciones de juego se establecieron en función del tamaño del efecto (ES) de Cohen con un IC 90%. Los criterios utilizados para la interpretación del ES se definieron como: triviales (0-0.19), pequeños (0.2-0.59), moderados (0.6-1.1), grandes (1.2-1.9) y muy grandes (> 2.0) (Batterham & Hopkins, 2006). La valoración cualitativa se realizó de acuerdo con los siguientes umbrales: $<75\%$, no es claro; 75-95%, probable; 95-99%, muy probable; $> 99\%$, casi seguro. El ICC y el CV se calcularon para los dos sprints realizados, para transmitir la fiabilidad de la prueba. El nivel de significación se estableció en $p \leq 0.05$.

5.3 Resultados

Con respecto al intervalo más rápido en el que los jugadores de cada categoría de edad y posición de juego alcanzaron su VMS (*Figura 1*), podemos observar que los jugadores de U14 (delanteros y backs) y U16 (delanteros) (58.3%, 58.1% y 64.7%, respectivamente) alcanzaron su VMS en el intervalo T20-30m, y los U16 (backs) el 55.9% lo hizo en el intervalo T30-40m. Los jugadores U18, la mayoría de los backs (50%) alcanzaron su VMS en el intervalo T30-40m, y el 48.6% de los delanteros lo hicieron en el intervalo T20-30m. Finalmente, los backs Senior tuvieron el mayor porcentaje de jugadores (50%) que alcanzaron su VMS en el intervalo T20-30m, mientras que el 58.6% de los delanteros lo alcanzaron en el intervalo T30-40m.

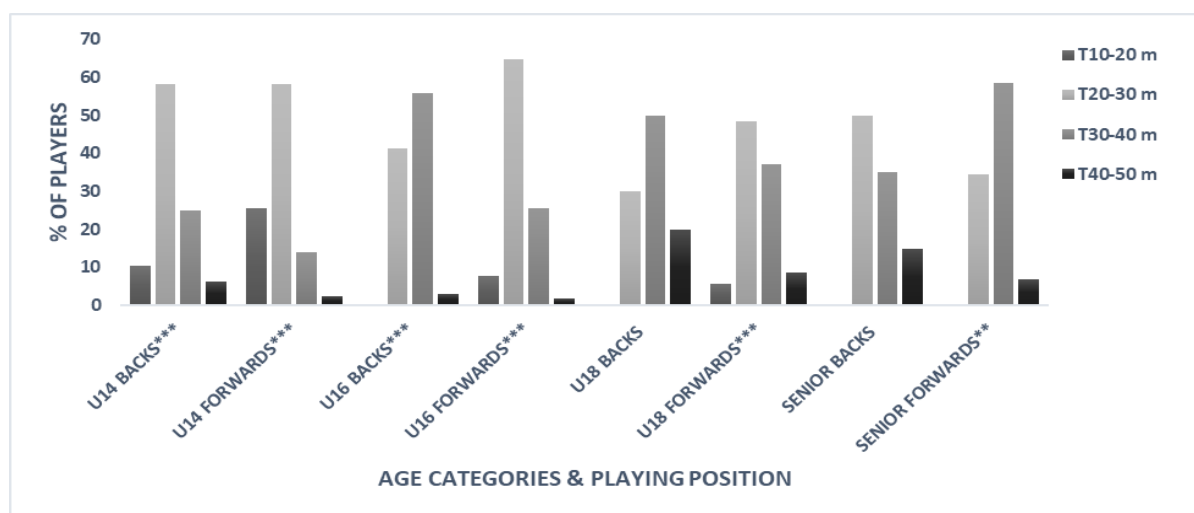


Figura 1. Distribución del mejor intervalo de 10-m según la categoría de edad y la posición de juego en jugadores de rugby.
 Diferencias significativas intra-grupo χ^2 ($p < 0.01$); *Diferencias significativas intra-grupo χ^2 ($p < 0.001$).

Los datos descriptivos con respecto al registro de tiempo individual para cada intervalo según las categorías de edad y las posiciones de juego se muestran en la *Tabla 1*. Las comparaciones entre cada intervalo de 10-m (por ejemplo, T10-20m vs T20-30m) se muestran en la *Tabla 2*. Los resultados indican que para los jugadores U14 backs y delanteros, y U16 delanteros, se observaron diferencias significativas entre los intervalos de 10 a 50 m (ES, *trivial* y *pequeño*; $p < 0.001$). Respecto de los jugadores U16 backs, U18 y Senior delanteros, las comparaciones mostraron que existen diferencias significativas en todos los intervalos, a excepción de T20-30m vs T30-40m (ES *trivial*; $p > 0.05$). Por el contrario, los backs U18 y Senior no demostraron diferencias significativas en los intervalos T20-30m y T30-40m (ES *trivial*; $p > 0.05$).

Tabla 1. Tiempos de cada intervalo de 10 m según categoría de edad y puesto específico.

Variable	U14		U16		U18		Senior	
Intervalo	F (n = 43)	B (n = 48)	F (n = 51)	B (n = 34)	F (n = 35)	B (n = 40)	F (n = 29)	B (n = 20)
T10-20m (s)	1.62 ± 0.16	1.5 ± 0.13	1.41 ± 0.13	1.33 ± 0.07	1.35 ± 0.08	1.29 ± 0.06	1.34 ± 0.08	1.29 ± 0.08
T20-30m (s)	1.59 ± 0.18	1.47 ± 0.14	1.36 ± 0.16	1.29 ± 0.08	1.27 ± 0.09	1.22 ± 0.08	1.29 ± 0.08	1.20 ± 0.08
T30-40m (s)	1.62 ± 0.19	1.48 ± 0.14	1.38 ± 0.17	1.29 ± 0.09	1.27 ± 0.09	1.21 ± 0.09	1.28 ± 0.1	1.21 ± 0.09
T40-50m (s)	1.66 ± 0.2	1.52 ± 0.17	1.4 ± 0.2	1.31 ± 0.1	1.31 ± 0.11	1.23 ± 0.08	1.31 ± 0.1	1.22 ± 0.1

*Datos presentados como la media (\pm DE). F: Delanteros; B: Backs; U14: sub 14's; U16: sub 16's; U18: sub 18's; *T10-20: tiempo (s) de 10 m en el intervalo 10-20m; *T20-30: tiempo (s) de 10 m en el intervalo 20-30m; *T30-40= tiempo (s) de 10 m en el intervalo 30-40m; *T40-50: tiempo (s) de 10 m en el intervalo 40-50m.

Tabla 2. Comparaciones entre intervalos de 10-m en un sprint de 50-m intra-categorías según puesto específico.

GROUP	VARIABLES	p-valor	ES	Magnitud	IC 95%
U14 (F)	<i>T10-20m vs. T20-30m</i>	< 0.001	0.17	Trivial	(-0.25; 0.59)
(n = 43)	<i>T20-30m vs. T30-40m</i>	< 0.001	-0.13	Trivial	(-0.55; 0.28)
	<i>T30-40m vs. T40-50m</i>	< 0.001	-0.22	Pequeño	(-0.65; 0.19)
U14 (B)	<i>T10-20m vs. T20-30m</i>	< 0.001	0.24	Pequeño	(-0.16; 0.64)
(n = 48)	<i>T20-30m vs. T30-40m</i>	< 0.01	-0.09	Trivial	(-0.49; 0.3)
	<i>T30-40m vs. T40-50m</i>	< 0.001	-0.24	Pequeño	(-0.65; 0.15)
U16 (F)	<i>T10-20m vs. T20-30m</i>	< 0.001	0.33	Pequeño	(-0.06 ; 0.72)
(n = 34)	<i>T20-30m vs. T30-40m</i>	< 0.05	-0.07	Trivial	(-0.46; 0.31)
	<i>T30-40m vs. T40-50m</i>	< 0.001	-0.13	Trivial	(-0.52; 0.25)
U16 (B)	<i>T10-20m vs. T20-30m</i>	< 0.001	0.54	Pequeño	(0.06; 1.03)
(n = 51)	<i>T20-30m vs. T30-40m</i>	0.66	0.03	Trivial	(-0.44; 0.5)
	<i>T30-40m vs. T40-50m</i>	< 0.001	-0.21	Pequeño	(-0.69; 0.26)
U18 (F)	<i>T10-20m vs. T20-30m</i>	< 0.001	0.82	Moderado	(0.33; 1.30)
(n = 35)	<i>T20-30m vs. T30-40m</i>	0.90	-0.005	Trivial	(-0.47; 0.46)
	<i>T30-40m vs. T40-50m</i>	< 0.001	-0.77	Moderado	(-0.77; 0.16)
U18 (B)	<i>T10-20m vs. T20-30m</i>	< 0.001	0.91	Moderado	(0.44; 1.37)
(n = 40)	<i>T20-30m vs. T30-40m</i>	0.051	0.12	Trivial	(-0.31; 0.56)
	<i>T30-40m vs. T40-50m</i>	< 0.01	-0.18	Trivial	(-0.62; 0.25)
SENIOR (F)	<i>T10-20m vs. T20-30m</i>	< 0.001	0.62	Moderado	(0.09; 1.15)
(n = 29)	<i>T20-30m vs. T30-40m</i>	0.34	0.07	Trivial	(-0.43; 0.59)
	<i>T30-40m vs. T40-50m</i>	< 0.001	-0.26	Pequeño	(-0.25; 0.78)
SENIOR (B)	<i>T10-20m vs. T20-30m</i>	< 0.001	0.98	Moderado	(0.32; 1.63)
(n = 20)	<i>T20-30m vs. T30-40m</i>	0.44	-0.08	Trivial	(-0.7; 0.53)
	<i>T30-40m vs. T40-50m</i>	0.13	-0.11	Trivial	(-0.73; 0.5)

*Datos presentados como la media (\pm DE). F: Delanteros; B: Backs; U14: sub 14's; U16: sub 16's; U18: sub 18's; *T10-20m: tiempo (s) de 10 m en el intervalo 10-20m; *T20-30m: tiempo (s) de 10 m en el intervalo 20-30m; *T30-40m: tiempo (s) de 10 m en el intervalo 30-40m; *T40-50m: tiempo (s) de 10 m en el intervalo 40-50m. ***ES: tamaño del efecto de Cohen's d. IC: intervalo de confianza.

La *Tabla 3* muestra los resultados descriptivos para todas las variables medidas. Las diferencias entre grupos en las comparaciones de variables antropométricas, el rendimiento del sprint y el SM para los backs se presentan en la *Tabla 4*. Los resultados demuestran diferencias significativas entre los jugadores U14 y el resto de las categorías de edad en todas las variables medidas (ES, *grande* y *muy grande*). Entre los jugadores de U16 y U18 se observaron *pequeñas* diferencias en altura, T10m, T20m y T30m (ES = -0.20-0.55). Con respecto a la masa corporal, T40m, T50m y SM inicial, las diferencias fueron moderadas (ES = -0.65-1.05). Finalmente, para los U16 y U18, los resultados mostraron diferencias *muy grandes* en SM (ES = 1.27). Para los U16 y Seniors se observaron *pequeñas* diferencias en T10m, T20m, y *moderadas* en altura, T30m, T40m, T50m y VMS. Con respecto a la masa corporal, SM y SM inicial se encontraron diferencias *muy grandes* entre U16 vs. Mayores (ES = 1.93-2.17). Las comparaciones entre U18 y Seniors, arrojaron diferencias *triviales* en los tiempos de sprint para todos los intervalos, y *pequeñas* diferencias en altura. Con respecto a la masa corporal, se observaron diferencias *moderadas* SM y SM iniciales (ES = 0.9-1.01).

Las diferencias en las comparaciones entre delanteros en las comparaciones de variables antropométricas, el rendimiento del sprint y el impulso de sprint se presentan en la *Tabla 5*. Se observaron diferencias significativas entre los jugadores U14 y el resto de las categorías de edad en todas las variables (ES, *grande* y *muy grande*). Se observaron diferencias *pequeñas* a *moderadas* entre los U16 y U18 en T20m, T30m, T40m, T50m y VMS (ES = 0.31-0.71). Con respecto a la masa corporal, T10m y SM inicial, no se observaron diferencias significativas entre estos grupos (ES *trivial*; $p > 0.05$). Se observaron *pequeñas* diferencias entre los jugadores U16 y Seniors en las variables altura y tiempos de sprint en todos los intervalos (ES = 0.24-0.55), diferencias *moderadas* para la masa corporal y VMS (ES = 0.68-0.86), y *grandes* diferencias para SM y SM inicial. Respecto de las comparaciones entre los U18 y Seniors se observaron *pequeñas* diferencias en T10m (ES = -0.23). Luego, con respecto a la altura, T20m, T30m, T40m, T50m y VMS las diferencias se consideraron como *no es claro* (ES, *trivial*). Finalmente, las diferencias en la masa corporal, SM inicial y SM fueron entre *moderado* y *grande* (ES = 0.95-1.25).

Tabla 3. Datos descriptivos para las características antropométricas, tiempos de sprint, velocidad máxima y momento lineal según categoría y puesto de juego

<i>Variables</i>	BACKS				DELANTEROS			
	U14 (n=43)	U16 (n=51)	U18 (n=35)	Senior (n=29)	U14 (n=43)	U16 (n=51)	U18 (n=35)	Senior (n=29)
<i>Masa (kg)</i>	47.55 ± 8.2	64.57 ± 8.8	74.47 ± 9.8	84.15 ± 8.9	66.85 ± 13.2	82.87 ± 14.7	83.54 ± 10.1	95.13 ± 13.3
<i>Altura (m)</i>	1.59 ± 0.09	1.73 ± 0.05	1.76 ± 0.06	1.80 ± 0.06	1.65 ± 0.09	1.77 ± 0.07	1.79 ± 0.06	1.80 ± 0.07
<i>T10m (s)</i>	1.86 ± 0.12	1.71 ± 0.08	1.7 ± 0.07	1.69 ± 0.1	1.98 ± 0.16	1.78 ± 0.15	1.77 ± 0.11	1.75 ± 0.12
<i>T20m (s)</i>	3.37 ± 0.25	3.05 ± 0.15	2.99 ± 0.13	2.98 ± 0.18	3.6 ± 0.32	3.2 ± 0.28	3.13 ± 0.18	3.09 ± 0.19
<i>T30m (s)</i>	4.84 ± 0.39	4.34 ± 0.23	4.22 ± 0.2	4.19 ± 0.25	5.20 ± 0.5	4.57 ± 0.44	4.4 ± 0.26	4.39 ± 0.27
<i>T40m (s)</i>	6.32 ± 0.53	5.63 ± 0.32	5.43 ± 0.29	5.41 ± 0.34	6.82 ± 0.7	5.95 ± 0.62	5.68 ± 0.35	5.67 ± 0.37
<i>T50m (s)</i>	7.85 ± 0.7	6.95 ± 0.42	6.66 ± 0.38	6.64 ± 0.45	8.49 ± 0.9	7.36 ± 0.81	6.99 ± 0.45	6.99 ± 0.47
<i>VMS (m·s⁻²)</i>	6.92 ± 0.65	7.87 ± 0.53	8.37 ± 0.56	8.42 ± 0.57	6.40 ± 0.72	7.45 ± 0.71	7.9 ± 0.55	7.89 ± 0.58
<i>SMmáx (kg·s⁻¹)</i>	329.76 ± 69.66	510.06 ± 87.66	623.3 ± 89.34	710.24 ± 98.07	426.68 ± 89.81	612.63 ± 95.58	659.83 ± 78.61	747.77 ± 91.91
<i>SMini (kg·s⁻¹)</i>	255.97 ± 49.92	377.86 ± 60.64	438.22 ± 56.33	498.9 ± 63.05	338.7 ± 66.37	464.2 ± 70.51	470.16 ± 46.37	543.51 ± 67.47

*Datos presentados como la media (± DE). *VMS: velocidad máxima de sprint; SMini: momento lineal inicial; SMmáx: momento lineal máximo; T10m: tiempo (s) de sprint en 10 m; T20m: tiempo (s) de sprint en 20 m; T30m: tiempo (s) de sprint en 30 m; T40m: tiempo (s) de sprint en 40 m; T50m: tiempo (s) de sprint en 50 m.

Tabla 4. Comparaciones entre categorías para las características antropométricas, tiempos de sprint, velocidad máxima y momento lineal para los backs.

ES 'd' de Cohen (\pm IC 90%), p-valor and y valoración cualitativa						
Variables	U14 v U16	U14 v U18	U14 v Seniors	U16 v U18	U16 v Seniors	U18 v Seniors
Masa	1.97 \pm 0.37***; casi seguro	2.93 \pm 0.36***; casi seguro	4.19 \pm 0.45***; casi seguro	1.05 \pm 0.38***; casi seguro	2.17 \pm 0.47***; casi seguro	1.02 \pm 0.45***; casi seguro
Altura	1.86 \pm 0.35***; casi seguro	2.14 \pm 0.35***; casi seguro	2.54 \pm 0.41***; casi seguro	0.55 \pm 0.38**; probable	1.1 \pm 0.48***; casi seguro	0.49 \pm 0.45; p = 0.076; probable
T10m	-1.35 \pm 0.36***; casi seguro	-1.56 \pm 0.34***; casi seguro	-1.45 \pm 0.43***; casi seguro	-0.2 \pm 0.39; p = 0.39; no es claro	-0.24 \pm 0.48; p = 0.41; no es claro	-0.08 \pm 0.48; p = 0.78; no es claro
T20m	-1.47 \pm 0.35***; casi seguro	-1.8 \pm 0.34***; no es claro	-1.7 \pm 0.41***; casi seguro	-0.41 \pm 0.39; p = 0.07; probable	-0.41 \pm 0.48; p = 0.15; probable	-0.06 \pm 0.48; p = 0.84; no es claro
T30m	-1.49 \pm 0.35; ***; casi seguro	-1.93 \pm 0.34; ***; casi seguro	-1.91 \pm 0.4***; casi seguro	-0.58 \pm 0.39*; muy probable	-0.62 \pm 0.47*; probable	-0.1 \pm 0.47; p = 0.7; no es claro
T40m	-1.52 \pm 0.35; ***; casi seguro	-2.03 \pm 0.34; ***; casi seguro	-1.99 \pm 0.4***; casi seguro	-0.65 \pm 0.39***; muy probable	-0.67 \pm 0.47*; muy probable	-0.07 \pm 0.47; p = 0.81; no es claro
T50m	-1.52 \pm 0.35; ***; casi seguro	-2.06 \pm 0.34; ***; casi seguro	-2.01 \pm 0.4***; casi seguro	-0.71 \pm 0.39***; muy probable	-0.7 \pm 0.47**; muy probable	-0.06 \pm 0.47; p = 0.84; no es claro
VMS	1.58 \pm 0.36; ***; casi seguro	2.36 \pm 0.35; ***; casi seguro	2.41 \pm 0.43***; casi seguro	0.91 \pm 0.38**; casi seguro	0.99 \pm 0.47***; muy probable	0.09 \pm 0.46; p = 0.73; no es claro
SMmáx	2.25 \pm 0.38; ***; casi seguro	3.63 \pm 0.36; ***; casi seguro	4.39 \pm 0.47***; casi seguro	1.27 \pm 0.38***; casi seguro	2.12 \pm 0.47***; casi seguro	0.91 \pm 0.46***; muy probable
SMini	2.17 \pm 0.38; ***; casi seguro	3.39 \pm 0.36; ***; casi seguro	4.2 \pm 0.46***; casi seguro	1.02 \pm 0.38***; casi seguro	1.93 \pm 0.47***; casi seguro	1 \pm 0.46***; casi seguro

*Datos presentados como la media (\pm DE). ES: Tamaño del Efecto Cohen's d (90% IC) y valoración cualitativa basado en los criterios de Hopkins. **VMS: velocidad máxima de sprint; SMini: momento lineal inicial; SMmáx: momento lineal máximo; T10m: tiempo (s) de sprint en 10 m; T20m: tiempo (s) de sprint en 20 m; T30m: tiempo (s) de sprint en 30 m; T40m: tiempo (s) de sprint en 40 m; T50m: tiempo (s) de sprint en 50 m. Nivel de significación: *** p < 0.001, ** p < 0.01, * p < 0.05.

Tabla 5. Comparaciones entre categorías para las características antropométricas, tiempos de sprint, velocidad máxima y momento lineal para los delanteros

ES 'd' de Cohen (IC 90%), p-valor and y valoración cualitativa						
Variables	U14 v U16	U14 v U18	U14 v Seniors	U16 v U18	U16 v Seniors	U18 v Seniors
Masa	1.13 ± 0.34***; casi seguro	1.41 ± 0.37***; casi seguro	2.1 ± 0.4***; casi seguro	0.06 ± 0.35; p = 0.77; no es claro	0.86 ± 0.38*; casi seguro	0.95 ± 0.42***; casi seguro
Altura	1.36 ± 0.34***; casi seguro	1.72 ± 0.37***; casi seguro	1.8 ± 0.39***; casi seguro	0.35 ± 0.36; p = 0.11; probable	0.51 ± 0.38*; probable	0.19 ± 0.42; p = 0.44; no es claro
T10m	-1.21 ± 0.34***; casi seguro	-1.42 ± 0.37***; casi seguro	-1.56 ± 0.28***; casi seguro	-0.05 ± 0.35; p = 0.81; no es claro	-0.24 ± 0.37; p = 0.27; no es claro	-0.23 ± 0.42; ***.35; no es claro
T20m	-1.3 ± 0.34***; casi seguro	-1.77 ± 0.37***; casi seguro	-1.86 ± 0.38***; casi seguro	-0.31 ± 0.35; p=0.14; no es claro	-0.43 ± 0.36*; probable	-0.16 ± 0.42; p = 0.51; no es claro
T30m	-1.3 ± 0.34***; casi seguro	-1.93 ± 0.36***; casi seguro	-1.96 ± 0.37***; casi seguro	-0.45 ± 0.35*; probable	-0.49 ± 0.36*; probable	-0.06 ± 0.42; p = 0.8; no es claro
T40m	-1.3 ± 0.34***; casi seguro	-2.03 ± 0.36***; casi seguro	-2.02 ± 0.37***; casi seguro	-0.53 ± 0.34***; probable	-0.54 ± 0.36***; muy probable	-0.03 ± 0.42; p = 0.9; no es claro
T50m	-1.3 ± 0.34***; casi seguro	-2.07 ± 0.36***; casi seguro	-2.06 ± 0.37***; casi seguro	-0.55 ± 0.34*; muy probable	-0.55 ± 0.36***; muy probable	-0.02 ± 0.42; p = 0.94; no es claro
VMS	1.45 ± 0.34***; casi seguro	2.32 ± 0.37***; casi seguro	2.26 ± 0.39***; casi seguro	0.71 ± 0.35***; muy probable	0.68 ± 0.37***; muy probable	0.02 ± 0.42; p = 0.94; no es claro
SMmáx	1.99 ± 0.34***; casi seguro	2.73 ± 0.37***; casi seguro	3.49 ± 0.4***; casi seguro	0.53 ± 0.36*; probable	1.43 ± 0.38***; casi seguro	1.01 ± 0.42***; casi seguro
SMini	1.82 ± 0.34***; casi seguro	2.427 ± 0.37***; casi seguro	3.03 ± 0.4***; casi seguro	0.1 ± 0.35; p = 0.63; no es claro	1.14 ± 0.38***; casi seguro	1.25 ± 0.42***; casi seguro

*Datos presentados como la media (± DE). ES: Tamaño del Efecto Cohen's d (90% IC) y valoración cualitativa basado en los criterios de Hopkins. **VMS: velocidad máxima de sprint; SMini: momento lineal inicial; SMmáx: momento lineal máximo; T10m: tiempo (s) de sprint en 10 m; T20m: tiempo (s) de sprint en 20 m; T30m: tiempo (s) de sprint en 30 m; T40m: tiempo (s) de sprint en 40 m; T50m: tiempo (s) de sprint en 50 m. Nivel de significación: *** p < 0.001, ** p < 0.01, * p < 0.05.

5.4 Discusión

El objetivo del presente estudio fue establecer en qué intervalo un jugador de rugby alcanza su VMS en un sprint de 50-m según la categoría de edad y la posición de juego. Los principales hallazgos del presente estudio fueron: i) cuanto más jóvenes son los jugadores, un mayor porcentaje de jugadores que alcanzan su VMS en distancias menores, y cuanto más edad tienen los jugadores, mayor es su VMS y también mayor distancia necesaria para alcanzarla; ii) un hallazgo novedoso fue que, independientemente de la categoría de edad y la posición de juego, la distancia óptima para la evaluación del sprint sería de 30-m; iii) finalmente, en relación con la edad y la posición de juego, observamos resultados similares a los de investigaciones anteriores (Darrall-Jones et al., 2015; Darrall-Jones et al., 2016) donde los jugadores mayores diferían principalmente por tener una mayor masa corporal, VMS (excepto U18 vs. Senior) y mayores valores de SM en contraste con los jugadores más jóvenes, especialmente U14.

Con respecto a las diferencias posicionales entre delanteros y backs pertenecientes a las mismas categorías de edad, los U14 y U16 (*Figura 1*), la mayoría de los delanteros alcanzaron su VMS en el intervalo T20-30m, pero hubo un número importante de jugadores que lo alcanzaron en el intervalo T10-20m (25.6% y 7.8%, respectivamente), otros lo hacen en T30-40m (14% y 25.5%) e incluso ~ 2% de los jugadores alcanzaron su VMS en el intervalo de T40-50m. Se observó un resultado similar para los backs U14, aunque esto no fue así para los backs U16 ya que observamos que al agregar T20-30m y T30-40m, el 97.1% de los jugadores alcanzaron el MSS entre T20-40m, y, para los backs U14, sólo el 83.3%. En cuanto a la variabilidad que existe en la distancia necesaria para alcanzar el pico de velocidad, en jugadores de categorías U14 y U16 (backs), esto podría estar relacionado con las diferencias interindividuales dentro de los grupos agrupados según la edad cronológica. Según Mendez-Villanueva et al. (2011) las diferencias relacionadas con la edad son casi completamente responsables de las diferencias en la maduración. Meyers, Oliver, Hughes, Lloyd, & Cronin (2017) afirman que en los deportistas que están en la etapa previa a su pico máximo de crecimiento en altura (PHV), su masa corporal tiene un impacto negativo en la velocidad de sprint. Por lo tanto, es importante resaltar que esta podría ser la razón de la variabilidad que existe en la distancia necesaria para alcanzar la VMS en las categorías U14 y U16 (especialmente en los backs). Estos resultados coinciden en parte con Buchheit et al. (2012) ya que reportaron datos similares para jugadores U14 y menores, pero difieren en la categoría U16 ya que indican

que los atletas alcanzan su VMS en el intervalo T30-40m. Por lo tanto, nuestros hallazgos sugieren que, especialmente para los jugadores de rugby U14, el desarrollo y la evaluación de la velocidad de sprint deben realizarse de manera consistente alrededor (o incluso antes) de esta edad, ya que esta información podría usarse como un complemento de PHV para monitorear el estado de madurez en un proceso de desarrollo deportivo a largo plazo.

Con respecto a los backs U18 y Seniors (*Figura 1*), un alto porcentaje de jugadores (> 80%) alcanzó su VMS entre intervalos de T20-30m y T30-40m ya que, como se mencionó anteriormente, éstos tienen valores más altos de velocidad y menor masa corporal que los delanteros (Darrall-Jones et al., 2016; Nakamura et al., 2016), lo que significa que necesitan una mayor distancia para alcanzar la VMS. Además, en los delanteros U16, U18 y Senior (*Figura 1*), un alto porcentaje de jugadores (> 85%) alcanzó su VMS también entre los intervalos de T20-30m y T30-40m. Estos resultados coinciden con los proporcionados por Barr, Sheppard, & Newton (2013) quienes observaron que los jugadores de rugby alcanzaron su VMS en el intervalo T30-40m, aunque utilizaron una muestra muy pequeña ($n = 11$) y todas las variables se estimaron mediante análisis de video, lo que dificulta establecer una comparación directa. Además en un breve reporte con jugadores de fútbol juveniles, algunos investigadores han obtenido resultados similares a nuestro estudio, indicando que los futbolistas U16 y U18 alcanzaron su VMS en el intervalo T30-40-m (Buchheit et al., 2012).

Un novedoso hallazgo del presente estudio es que hemos observado que, si realizamos un análisis comparativo con respecto al tiempo de cada intervalo de 10-m entre sí, los resultados sugieren que 30-m podrían ser una distancia suficiente para la evaluación de la VMS, independientemente de la categoría de edad y posición de juego. Los resultados en la *Tabla 1* muestran cómo cambian los tiempos de sprint a medida que aumenta la distancia sin tener en cuenta la fase de aceleración (0-10 m). Con respecto a las comparaciones de tiempos de sprint (*Tabla 2*), podemos observar que los delanteros y backs U14 obtuvieron los tiempos más bajos en el intervalo T20-30m con diferencias *triviales* ($p < 0.05$) comparando este intervalo con el anterior (T10-20m) y el siguiente (T30-40m). Un resultado similar podemos observar con respecto a los delanteros U16 y, a su vez, esto podría sugerir que la distancia óptima para la evaluación de la VMS en estas categorías de edad no debería ser superior a 30-m. Estos resultados están en línea con Darrall-Jones et al. (2015), quienes señalaron que los jugadores más jóvenes (U14 y

delanteros U16) alcanzaron su VMS antes y que no pudieron mantener esa velocidad en distancias superiores a 30-m, mientras que los jugadores de mayor edad (backs U16, U18 y Senior) pudieron alcanzar VMS más altas y mantener la velocidad durante más tiempo, lo que también sugiere una mayor resistencia a la pérdida de velocidad. Con respecto a esto último, vale la pena mencionar que las comparaciones no mostraron diferencias entre los intervalos T20-30m y T30-40m entre los backs U16, así como tampoco en los delanteros U18 y Senior. Además, respecto de los backs U18 y Senior, no se encontraron diferencias en el intervalo T20-30m vs. T30-40m (*trivial*) y, por lo tanto, se puede sugerir que 30-m también podría ser la distancia óptima para evaluar la VMS en jugadores de rugby. El presente estudio confirma hallazgos previos entre futbolistas australianos donde se ha indicado que en 30-m, los atletas ya habían alcanzado el 99.0% de su VMS y que en el intervalo T30-40m, no hubo aumentos significativos en la velocidad de sprint (Young et al., 2008). Adicionalmente, en términos prácticos, estos resultados sugieren que, en jugadores de rugby amateur, un test de sprint sobre 30-m sería una distancia suficiente para la evaluación de la velocidad e incluso los valores obtenidos de VMS también podrían ser una referencia útil al monitorear jugadores en entrenamientos y competiciones usando umbrales de velocidad individualizados.

En cuanto a las diferencias en las características antropométricas, los tiempos de sprint, VMS y SM en backs y delanteros (*Tablas 3, 4 y 5*), los hallazgos actuales sugieren que la evolución de la velocidad según la edad de los atletas podría diferenciarse claramente entre los grupos de edad por debajo de U16, pero no tan claramente entre éstos y los jugadores mayores (Till et al., 2017). En ese sentido, Till et al. (2017) observaron que los incrementos en la masa corporal y la altura podrían reducir el desarrollo de la velocidad de sprint, y esto sugiere que la evaluación de SM, junto con la VMS, puede ser una consideración importante para controlar el progreso de los jugadores mayores de 16 años. De acuerdo con Till et al. (2015), a medida que avanzan en edad, las diferencias entre los atletas se reducirán incluso si los registros de tiempo continúan disminuyendo, y que los jugadores no continuarán desarrollando sus cualidades físicas a un ritmo tan alto a medida que ganan experiencia de entrenamiento. Los resultados del presente estudio indican que existen claras diferencias entre los jugadores U14 y el resto de las categorías de edad con respecto a las características antropométricas, los tiempos de sprint, VMS y SM, independientemente del puesto de juego. Estos hallazgos están en línea con Darrall-Jones et al. (2015), quienes reportaron que los aumentos en la masa corporal de los atletas

a medida que crecen probablemente podrían explicar el camino normal de crecimiento y maduración posterior al PHV. Según nuestros resultados, los jugadores U14 podrían estar pasando por esta etapa que representa un momento clave durante la adolescencia y que, por lo tanto, también habrá incrementos en la masa corporal (Mendez-Villanueva et al., 2011). Por lo tanto, al menos en parte, estos cambios morfológicos típicos en la adolescencia podrían explicar las *grandes* diferencias observadas en todas las variables medidas en jugadores U14 en comparación con el resto.

Finalmente, hemos observado diferencias *pequeñas a moderadas* entre jugadores U16 y Seniors, en altura, todos los tiempos de sprint, VMS y diferencias *muy grandes* en masa corporal y SM inicial. Las comparaciones entre U16 y Senior en T10m se consideraron *pequeñas*, y contrariamente a esto, las diferencias halladas fueron *muy grandes* en SM máximo. Esto significa que los jugadores Senior alcanzan una velocidad de sprint más alta y tiempos más bajos en todos los intervalos excepto en el inicial (T10m), y valores de SM máximo muy superiores a los U16. Tanto la VMS como SM son variables determinantes para el rendimiento en el rugby, y por sobre todo, tienen el poder de discriminar entre atletas de élite y aquellos de un nivel inferior (Baker & Newton, 2008; Darrall-Jones et al., 2016), y explica también por qué los jugadores mayores no compiten y ni deberían competir contra jugadores más jóvenes.

Este trabajo tiene algunas limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. La principal limitación de nuestro estudio fue no haber logrado controlar el estado de madurez (i.e. PHV) de los deportistas más jóvenes, lo cual hubiera ayudado a comprender mejor las diferencias que existen entre categorías de edad y puesto de juego. En segundo lugar, no hemos evaluado la capacidad de salto, lo que también habría ayudado a comprender con mayor claridad ciertos resultados. Con respecto al uso del número de intervalos, creemos que se debe usar una sección inicial (0-5 m) para estimar la capacidad de aceleración.

5.5 Conclusiones

En conclusión, la mayoría de los jugadores U14 tanto delanteros como backs, alcanzaron la VMS en el intervalo T20-30m, así como los delanteros U18 y U16 y backs de Senior. En el intervalo T30-40m, se encontró el porcentaje más alto para los backs U16 y U18, y los delanteros Senior. Al analizar los tiempos de cada intervalo, los resultados demostraron que la velocidad de sprint en todos los U14 y delanteros U16 no se

incrementó después del intervalo T20-30m, mientras que las backs U16, U18 y Senior no alcanzaron una velocidad de sprint superior después del intervalo T30-40m. Estos hallazgos sugieren que, en todos los casos, una distancia de 30-m es suficiente para evaluar la velocidad y momento lineal en jugadores de rugby. Además, hemos observado que la masa corporal, el SM y la VMS son variables que discriminan claramente a los jugadores de diferentes categorías de edad y posiciones de juego. Finalmente, cabe añadir que no se han hallado diferencias entre los jugadores U18 y Senior en ninguno de los tiempos de sprint ni en la VMS.

5.6 Aplicaciones Prácticas

En jugadores de rugby amateur, una prueba de sprint de 30-m sería una distancia suficiente para la evaluación de la velocidad de sprint, independientemente de la categoría y del puesto de juego. La velocidad de sprint también podría ser una referencia útil al monitorear jugadores en entrenamientos y competiciones usando umbrales de velocidad individuales, en lugar de los umbrales generalizados impuestos en los distintos dispositivos de control (i.e. GPS).

VI. ARTÍCULO II



6. Artículo II: Relaciones entre el rendimiento de sprint resistido y diferentes variables de fuerza y potencia en jugadores de rugby

6.1 Introducción

El rugby es un deporte de carácter intermitente, físicamente intenso en el que las colisiones de alta intensidad son comunes durante la competencia (Lindsay et al., 2015), lo que requiere que los jugadores posean altos niveles de fuerza, potencia y velocidad, independientemente de la posición de juego (Wang et al., 2016). Además, el juego se caracteriza por múltiples acciones de alta intensidad como aceleraciones y sprints máximos, intercaladas por esfuerzos de baja intensidad (Chiwariidzo et al., 2016; Cross et al., 2015).

En la literatura científica, el entrenamiento de sprint resistido con trineos de arrastre (RST) ha ido ganando atención y relevancia para el entrenamiento deportivo, con el objetivo de mejorar la velocidad y la potencia. Existe una cantidad creciente de investigaciones relacionadas con RST, aunque la prescripción de la carga adecuada requiere mayor atención (McMorrow et al., 2019). Harrison & Bourke (2009) utilizaron una carga del 13% PC, y sprints de 30-m para analizar los efectos de la RST en la velocidad y la fuerza de las extremidades inferiores en jugadores de rugby, y concluyeron que los protocolos de RST pueden ser útiles para mejorar la capacidad de aceleración. Según Behrens & Simonson (2011), el uso de una carga adecuada debe ser un requisito importante para provocar adaptaciones positivas sin alterar drásticamente la mecánica de sprint. Tradicionalmente, se han utilizado las cargas absolutas (kg) o el porcentaje del PC para cuantificar y prescribir la carga de entrenamiento en RST, pero estos métodos no tienen en cuenta la variabilidad entre los sujetos, la pérdida de velocidad ni la disminución del rendimiento respecto al sprint sin carga añadida (Behrens & Simonson, 2011; Martínez-Valencia et al., 2015; Petrakos et al., 2016). Por lo tanto, el porcentaje de pérdida de velocidad (Vloss) con respecto al sprint sin carga se ha propuesto como el método más apropiado para normalizar el estímulo aplicado a cada atleta (Alcaraz et al., 2014; Alcaraz et al., 2018; Bachero-Mena & González-Badillo, 2014). Adicionalmente, la velocidad de sprint con trineos arrastre se ve afectada por el coeficiente de fricción de la superficie donde se entrena y por el propio peso del trineo (Linthorne & Cooper, 2013), lo que hace que la prescripción de la carga adecuada sea un problema más complejo para los profesionales.

Tanto en el deporte como para las actividades cotidianas, uno de los atributos más importantes del músculo esquelético es la capacidad de generar potencia, que es el producto de la fuerza y la velocidad del movimiento (Kraemer & Newton, 2000). Algunos estudios han demostrado una fuerte relación entre la fuerza, el sprint de 20-m y el rendimiento del salto en atletas de deportes de pista y de conjunto (Bachero-Mena et al., 2017; Comfort et al., 2014). De acuerdo con Wisløff et al., (2004), existe una fuerte correlación entre la fuerza máxima absoluta en media sentadilla, el rendimiento de sprint en 30-m y altura de salto en jugadores de fútbol. Además, un estudio reciente informó que la fuerza isométrica en el ejercicio de tracción del medio muslo (IMTP) están significativamente asociadas con la agilidad y el rendimiento en sprint en jugadores de rugby (Brady et al., 2020; Wang et al., 2016). Contrariamente, Jiménez-Reyes et al. (2018) informaron correlaciones no significativas entre la altura del salto en SJ y los tiempos de sprint de 20-m en jugadores de rugby masculino y femenino. Sin embargo, está claro que la producción de fuerza es un componente integral de la velocidad máxima de sprint (McBride et al., 2009; Suchomel et al. 2016). En los jugadores de rugby, el rendimiento en sprints cortos (5-m) demostró estar más relacionado con la fuerza máxima alcanzada en la fase inicial en sentadillas isométricas, mientras que la altura del salto estuvo más fuertemente relacionada con la fuerza absoluta en la fase posterior del mismo ejercicio (Tillin et al., 2013).

La fuerza expresada tanto en términos absolutos como en relación con el PC ha sido considerada como un factor crítico para el éxito en el rugby (Duthie, 2006). Jalilvand, Banoocy, Rumpf, & Lockie (2018) también sugieren que los atletas más pesados podrían centrarse en mejorar su relación potencia-peso para influir positivamente en las capacidades de salto y sprint. El entrenamiento orientado a incrementar la fuerza, la potencia y la masa muscular en las extremidades inferiores mediante una resistencia adecuada, mientras se mantiene o mejora la velocidad puede ser una estrategia útil para proporcionar a los jugadores de rugby las características de rendimiento necesarias para jugar a un nivel de élite (Baker & Newton, 2008).

Sin embargo, investigaciones recientes (Brady et al., 2020; Tillin et al., 2013) estudiaron la producción de fuerza explosiva-isométrica mediante pruebas tradicionales (i.e. IMTP y Sentadilla) que están en el plano vertical, aunque el sprint (especialmente la fase de aceleración) es predominantemente horizontal en dirección. Esta falta de especificidad podría abordarse mediante el diseño y el uso de una prueba de fuerza

isométrica específica de sprint (SIST). Por lo tanto, para avanzar en ese sentido y explorar la relación entre las capacidades de fuerza dinámica e isométrica y el rendimiento del sprint, sería relevante diseñar una prueba específica capaz de medir la aplicación de fuerza resultante en una posición más relacionada con el sprint. Como el método RST permite una mayor aplicación de la fuerza horizontal (Petrakos et al., 2016), una prueba de fuerza isométrica realizada en una posición específica que permite la medición de la fuerza orientada horizontalmente podría explicar, en gran medida, la respuesta individual de cada atleta a diferentes condiciones de carga durante RST.

Según lo expuesto anteriormente, es posible pensar que el test especialmente diseñado SIST, se correlacionará no sólo con el rendimiento del sprint, sino también con las cargas necesarias para lograr un 10%, 30% y 50% Vloss. Por lo tanto, el propósito de este trabajo fue doble: (1) investigar la relación entre SIST y la velocidad máxima sin carga añadida ($V_{\text{máx}}$), los tiempos de sprint en diferentes condiciones de carga (%PC) y las cargas necesarias para alcanzar los % Vloss usados durante el RST en jugadores de rugby; (2) analizar las relaciones entre una evaluación estructural multiarticular de fuerza (isométrica y dinámica), capacidad de salto, $V_{\text{máx}}$, tiempos de sprint con las diferentes condiciones de carga utilizadas durante RST. Dada la relación conocida entre el salto, la velocidad de carrera y la fuerza en los jugadores de rugby, planteamos como hipótesis que la fuerza (dinámica e isométrica) en miembros inferiores se correlacionaría con el rendimiento del sprint.

6.2 Material y Métodos

6.2.1 Participantes

Veinte jugadores de rugby amateur masculinos, saludables y activos (edad: 22.5 ± 5.3 años; altura: 1.80 ± 0.05 m; masa corporal: 80.2 ± 15.2 kg) con más de cinco años de experiencia competitiva a nivel regional participaron en el presente estudio. Los criterios de inclusión fueron los siguientes: jugadores de rugby sanos y entrenados; sin lesiones ni afecciones médicas en los últimos seis meses; y al menos un año de experiencia previa en entrenamiento de fuerza y RST. Durante el período de investigación, los participantes no debían participar en ningún otro tipo de actividad física extenuante, entrenamiento físico o competencia deportiva. Todos los participantes descansaron el día antes de la prueba y se les pidió que asistieran al centro de rendimiento alimentados e hidratados, similar a sus prácticas normales antes del entrenamiento. El estudio cumplió con los estándares éticos y fue aprobado por un Comité de Ética en Investigación (CE031917) y conforme a las

recomendaciones de la Declaración de Helsinki. Después de ser informados sobre el propósito y los procedimientos experimentales, los participantes firmaron un formulario de consentimiento informado previo a su participación.

6.2.2 Diseño y Procedimientos

Se realizó un estudio descriptivo-correlacional de corte transversal. Las evaluaciones se realizaron en dos días no consecutivos, con 72 horas de descanso para evitar posibles interferencias causadas por la fatiga. En el primer día, se realizaron pruebas de sprint de 30-m con diferentes cargas (es decir, 0%, 20%, 40%, 60% y 80% PC, en orden aleatorio) para obtener una ecuación de regresión lineal individual capaz de individualizar las cargas necesarias para lograr cada condición de Vloss prevista (10%, 30% y 50%). En el día dos, se realizaron las evaluaciones de fuerza de salto de contra-movimiento (CMJ), salto de sentadilla (SJ) y Sentadilla dinámica (1RM-SQ) e isométrica (ISQT) y finalmente el test SIST.

6.2.3 Tests

Las pruebas del primer día se realizaron durante la tarde en un campo de rugby de césped natural al aire libre en condiciones de clima seco. Los participantes usaron su propia ropa de entrenamiento y tacos de rugby. Antes de las evaluaciones, todos los participantes realizaron un calentamiento estandarizado específico, que consistió en 10 minutos de movimientos y carreras a intensidad baja a moderada; 5 minutos de estiramiento dinámico activo; 4 repeticiones de saltos CMJ submáximos, seguidos de ~4 repeticiones de sprints submáximos de intensidad progresiva sobre 10, 20 y 30-m, asegurando un intervalo de 90 segundos entre cada uno. Después del calentamiento, asegurando también un período de recuperación de 3 minutos, los participantes realizaron los sprints sin carga para evitar un posible efecto de potenciación que afectara las series posteriores y, finalmente, se realizaron los sprints RST con cargas en un orden aleatorio. Todos los participantes completaron las pruebas de sprint en el mismo día y a la misma hora. En el segundo día, para las evaluaciones de salto y fuerza, los participantes visitaron el Centro de Alto Rendimiento Deportivo de la Universidad Católica de Murcia (CIAR-UCAM). El orden de las pruebas fue el siguiente: en primer lugar, la evaluación CMJ y SJ, seguida de las pruebas de fuerza isométrica (SIST e ISQT), y al finalizar éstas, se realizó la estimación de 1RM-SQ. Cada etapa de prueba del día dos se separó por un período de recuperación de entre 8 y 10 minutos.

6.2.4 Tests de sprint para Ecuación de Regresión Individual

Se realizaron dos sprints de 30-m para cada condición de carga con ~4 minutos de recuperación entre repeticiones. Los participantes comenzaron la prueba en una posición con dos puntos de apoyo, con el pie delantero 1-m detrás de la primera fotocélula. Las fotocélulas (Microgate, Bolzano, Italia) estaban ubicadas sobre un trípode a 1 m de altura en la línea de partida y a 5, 10, 20, 25 y 30-m. Además, se utilizó una pistola de radar (Stalker ATS II, Applied Concepts, Richardson, TX, EE. UU.) para medir la velocidad instantánea utilizando con frecuencia de muestreo de 47 Hz. El radar se colocó 5 m detrás de la línea de partida utilizando un trípode a 1-m de altura respecto del nivel del suelo. Se usó un trineo de arrastre (Power systems, Power Sled, peso: 13.4 kg) fijado firmemente al atleta con un cinturón colocado cerca del centro de masa (CoM) y una correa de 3.5-m de largo unida al trineo. Se alentó a los participantes a correr los 30-m lo más rápido posible. El mejor tiempo en 30-m en cada condición de carga se usó para el análisis posterior y se nombró de la siguiente manera: T30 (sin carga), T30-20BM (20% PC), T30-40BM (40% PC), T30-60BM (60% PC) y T30-80BM (80% PC). La velocidad máxima alcanzada en la condición descargada y las cargas necesarias para alcanzar 10% Vloss (L10%), 30% Vloss (L30%) y 50% Vloss (L50%) también se utilizaron en el análisis. La condición de carga respecto de Vloss de cada participante se obtuvo de acuerdo con el cálculo de ecuación de regresión individual.

6.2.5 Tests de saltos

Los participantes realizaron dos pruebas de salto vertical (SJ y CMJ) sobre una plataforma de fuerza (Kistler 9286BA, Winterthur, Suiza) con una frecuencia de muestreo de 350 Hz. Las variables obtenidas durante estas pruebas fueron las siguientes: altura máxima de salto (JH) y potencia máxima relativa al PC (PP_{rel}). El protocolo de calentamiento consistió en 5-min de carrera a baja intensidad, movilidad articular y estiramiento dinámico, seguido de 10-min de ejercicios de activación y movilización no fatigantes, y finalmente se realizaron estocadas y sentadillas con el propio peso corporal, dos series de cuatro repeticiones submáximas de saltos SJ y CMJ. Luego, los participantes realizaron tres saltos máximos CMJ y tres SJ con las manos en las caderas, separados por 15 segundos de recuperación entre repeticiones y 4-min entre series (Loturco et al., 2015). El valor de JH más alto en cada salto se mantuvo para realizar el análisis posterior.

6.2.6 Test de Fuerza Isométrica Específico

El test SIST se realizó utilizando un trineo de arrastre (Power systems, Power Sled, peso: 13.4 kg) fijado firmemente al atleta con un cinturón colocado cerca del centro de masa (CoM) y una correa de 3.5-m de largo unida al trineo. Adicionalmente, el trineo se cargó con ~300 kg para evitar cualquier movimiento. Se adhirió una superficie de material antideslizante a la plataforma de fuerza para evitar el deslizamiento de los pies de los participantes. Los participantes comenzaron cada repetición desde una posición similar a la posición inicial de las pruebas de velocidad sobre una plataforma de fuerza (Kistler 9286BA, Winterthur, Suiza) con una frecuencia de muestreo de 350 Hz (Software, BioWare V5.4.2.0, Kistler Ibérica S.L, Barcelona, España). El pie de preferencia estaba adelantado, las articulaciones colocadas ángulos de tronco, muslo y piernas que sean confortables para los participantes. Los brazos se colocaron apoyadas sobre una barra vertical, no estaba permitido empujar o tirar de la barra de la máquina Smith para evitar movimientos indeseados durante cada repetición. Se alentó verbalmente a los participantes a realizar cada repetición aplicando la fuerza máxima durante tres segundos, evitando cualquier movimiento en las articulaciones en todo momento. La fuerza media resultante (N), entendida como la fuerza media máxima generada durante la prueba de tres segundos menos el peso corporal del sujeto. Además, se reportó la fuerza media en la prueba SIST relativa a la masa corporal de cada participante ($SIST_{rel}$). Se realizaron dos repeticiones, separadas por ~5 minutos de recuperación entre cada prueba. El mejor valor de la prueba se utilizó para el análisis posterior. Las *Figuras 1* y *2* muestran las pruebas pilotos realizadas antes de la recopilación de datos.



Figura 1. Modelo de las pruebas pilotos realizadas para la prueba SIST.



Figura 2. Modelo de las pruebas pilotos realizadas para la prueba SIST.

6.2.7 Test de Fuerza Isométrica en Sentadillas

El test ISQT se realizó sobre una plataforma de fuerza (Kistler 9286BA, Winterthur, Suiza) con una frecuencia de muestreo de 350 Hz (Software, BioWare V5.4.2.0, Kistler Ibérica S.L, Barcelona, España). Los participantes se ubicaron en una máquina Smith en una posición de sentadillas, sosteniendo una contracción isométrica máxima durante al menos tres segundos y un ángulo de rodilla aproximado de 90° (Brady et al., 2020). La fuerza media resultante (N), entendida como la fuerza media máxima generada durante la prueba de tres segundos menos el peso corporal del sujeto. La fuerza media obtenida en el test ISQT también se informó en relación con la masa corporal (ISQT_{rel}). Los participantes recibieron instrucciones de presionar tan fuerte y rápido como pudieran para asegurar que se haya alcanzado la fuerza máxima isométrica. Los participantes completaron dos repeticiones y se les indicó que se prepararan y luego se les dio una cuenta regresiva de “3, 2, 1, ¡push!”. Este estímulo verbal fue proporcionado durante todas las repeticiones. Se realizaron dos repeticiones, separadas por ~5-min de recuperación entre cada una. El mejor valor obtenido de ambas repeticiones se utilizó para el análisis posterior.

6.2.8 Test de Fuerza de cargas progresivas

Después de 10 minutos de descanso, los participantes completaron una prueba de carga incremental para la estimación de 1RM-SQ utilizando un transductor lineal de posición (Chronojump, Boscosystem, Barcelona, España) (Vivancos et al., 2014). La estimación de 1RM se basó en una ecuación previamente informada por Sánchez-Medina, Pallarés, Pérez, Morán-Navarro, & González-Badillo (2017). Debido a la estrecha relación ($r^2 = 0.95$) entre %1RM y la velocidad media propulsiva (MPV) en el ejercicio de sentadillas, el 1RM se estimó a partir de la MPV alcanzado contra la carga más pesada de la prueba, utilizando la siguiente ecuación: $\% \text{ 1RM} = -5.961 \text{ MPV}^2 - 50.71 \text{ MPV} + 117.0$ (Error estándar de estimación = 4.0% 1RM) (Sánchez-Medina et al., 2017). La evaluación se realizó en una máquina Smith con la barra apoyada en la parte superior de la espalda y comenzó con una profunda flexión de las extremidades inferiores hasta que el muslo superó la horizontal con respecto al suelo. Los participantes recibieron instrucciones de realizar las acciones concéntricas a la velocidad máxima y no se les permitió saltar o despegar la barra de los hombros. La carga inicial en la sentadilla se estableció en 40 kg para todos los participantes y se incrementó gradualmente entre 5 y 10 kg. Se ejecutaron 3 repeticiones con cada carga con un intervalo de 3-min de descanso entre cada serie.

Cuando los participantes alcanzaron una VMP cercana a $0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, la prueba finalizó y se procedió a calcular la 1RM. Una vez que se estimó 1RM-SQ, también se calculó la fuerza relativa a la masa corporal del participante ($1\text{RM-SQ}_{\text{rel}}$).

6.2.9 Análisis Estadístico

Se utilizaron métodos estadísticos estándar para el cálculo de medias y desviaciones estándar (DE). La prueba de Shapiro-Wilk se utilizó para analizar si los valores se distribuían normalmente. En el caso de no normalidad, se utilizaron correlaciones de Spearman para estas variables. Se calcularon, además, el coeficiente de correlación intraclase (ICC) y el coeficiente de variación (CV) con un intervalo de confianza (IC) del 95% para proporcionar la fiabilidad de todas las mediciones. La fiabilidad se determinó como aceptable con un $\text{ICC} > 0.8$ y un $\text{CV} < 10\%$ (Hopkins, 2000). Se determinaron las relaciones entre las variables de salto, fuerza y velocidad mediante la correlación producto-momento de Pearson. Los valores de las correlaciones (r) se interpretaron como débiles (0.39), moderados (0.40-0.69) o fuertes (0.70) según umbrales establecidos previamente (Cohen, 2013). El nivel de significación se estableció en $p < 0.05$. Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el software SPSS (versión 21.0; SPSS, IBM Corp., Armonk, NY, EE. UU.).

6.3 Resultados

Los resultados del análisis de fiabilidad mostraron valores aceptables para la altura de CMJ y SJ (ICC : 0.949-0.988 y CV : 2.84% –6.10%), ISQT (ICC : 0.941 y CV : 9.64%), SIST (ICC : 0.953 y CV : 7.07%). Con respecto a la fiabilidad para los tiempos de sprint, los resultados mostraron una fiabilidad aceptable para T5 (ICC : 0.933 y CV : 1.81%) y T30 (ICC : 0.933 y CV : 1.77%). En cuanto a la prueba de normalidad, los resultados obtenidos indicaron que $T_{30-40\text{BM}}$, $T_{30-80\text{BM}}$, 1RM-SQ , ISQT_{rel} , SIST y SIST_{rel} no estaban normalmente distribuidos ($p < 0.05$). Todas las demás medidas en el presente estudio se consideraron normales ($p > 0.05$). Los resultados descriptivos para todas las variables se presentan en la *tabla 1*.

Tabla 1. Datos descriptivos para las variables de sprint, salto y fuerza en jugadores de rugby.

CMJ (cm)	SJ (cm)	CMJ PP_{rel} (W·kg⁻¹)	SJ PP_{rel} (W·kg⁻¹)
33.36 ± 6.28	30.09 ± 5.16	51.48 ± 6.67	49.65 ± 6.64
1RM-SQ (kg)	1RM-SQ_{rel} (kg·kg⁻¹)	ISQT_{rel} (N·kg⁻¹)	ISQT (N)
113.90 ± 23.73	1.41 ± 0.19	20.38 ± 4.68	1650.49 ± 521.97
SIST_{rel} (N·kg⁻¹)	SIST (N)	T₃₀ (s)	T₃₀-20BM (s)
12.70 ± 1.76	1017.93 ± 246.66	4.32 ± 0.24	5.32 ± 0.42
T₃₀-40BM (s)	T₃₀-60BM (s)	T₃₀-80BM (s)	L10% (kg)
6.45 ± 0.67	7.78 ± 1.00	10.30 ± 1.52	9.53 ± 1.36
L30% (kg)	L50% (kg)	V_{máx} (m·s⁻¹)	-
31.38 ± 2.93	53.23 ± 4.99	8.19 ± 0.55	-

CMJ: salto con contramovimiento; SJ: sentadilla con salto; PP_{rel}: potencia pico relativa al peso corporal; 1RM-SQ: repetición máxima estimada en el ejercicio sentadilla; 1RM-SQ_{rel}: 1RM relativa al peso corporal en el ejercicio sentadilla; ISQT_{rel}: fuerza relativa al peso corporal en el ejercicio sentadilla isométrica; ISQT: fuerza absoluta en el ejercicio sentadilla isométrica; SIST_{rel}: fuerza isométrica en el test específico relativa al peso corporal; SIST: fuerza absoluta isométrica en el test específico; T₃₀: tiempo de sprint en 30 m; T₃₀-20BM: tiempo de sprint en 30 m con una carga del 20% PC; T₃₀-40BM: tiempo de sprint en 30 m con una carga del 40% PC; T₃₀-60BM: tiempo de sprint en 30 m con una carga del 60% PC; T₃₀-80BM: tiempo de sprint en 30 m con una carga del 80% PC; L10%: carga necesaria para un 10% de pérdida de velocidad; L30%: carga necesaria para un 30% de pérdida de velocidad; carga necesaria para un 50% de pérdida de velocidad; V_{máx}: velocidad máxima alcanzada en el sprint sin carga añadida.

Con respecto a las correlaciones entre los tiempos y las cargas de sprint y las variables obtenidas después de las evaluaciones (*tabla 2*), los resultados indican que existen correlaciones entre *moderadas* y *fuertes* entre la altura de salto en CMJ y SJ y los tiempos de sprint sin carga y RST, y V_{\max} ($0.510, p < 0.05$; $0.905, p < 0.001$). La altura de salto en SJ mostró correlaciones *moderadas* con L10% y L30%. Respecto a las variables de fuerza, 1RM-SQ, demostró correlaciones entre *moderadas* y *fuertes* 1RM-SQ_{rel}, ISQT e ISQT_{rel} ($0.501, p < 0.05$; $0.761, p < 0.001$). No se encontraron correlaciones entre las variables de fuerza y las cargas RST, y sólo L10% demostró una correlación significativa y *moderada* con ISQT. Además, las tres cargas relativas a Vloss se correlacionaron entre sí ($0.565, p < 0.01$ a $0.982, p < 0.001$). Con respecto a los tiempos de sprint sin carga y RST, L10% mostró correlaciones moderadas a fuertes con V_{\max} , T30 y el resto de las condiciones de carga ($0.482, p < 0.05$; $0.724, p < 0.001$).

Las correlaciones entre SIST y SIST_{rel} y las variables restantes se presentan por separado en la *tabla 3*. Curiosamente, SIST reveló correlaciones *moderadas* ($p < 0.001$) entre 1RM-SQ e ISQT. SIST_{rel}, pero no SIST, utilizado en el presente estudio mostró correlaciones *moderadas* con las cargas necesarias para alcanzar el 10%, 30% y 50% de Vloss durante la RST (*figuras 3 a 5*).

Tabla 2. Matriz de correlaciones entre las diferentes variables de rendimiento en el sprint, salto y fuerza dinámica e isométrica en jugadores de rugby.

VARIABLES	CORRELACIONES													
	SALTOS		FUERZA				CARGAS RST			TIEMPOS DE SPRINT				
	<i>CMJ</i>	<i>SJ</i>	<i>1RM-SQ</i>	<i>1RM-SQ_{rel}</i>	<i>ISQT_{rel}</i>	<i>ISQT</i>	<i>L10%</i>	<i>L30%</i>	<i>L50%</i>	<i>VMAX</i>	<i>T₃₀</i>	<i>T_{30-20BM}</i>	<i>T_{30-40BM}</i>	<i>T_{30-60BM}</i>
SJ	0.905**													
1RM-SQ	−0.186	−0.262												
1RM-SQ_{rel}	0.510*	0.345	0.501*											
ISQT_{rel}	0.198	−0.014	0.605**	0.633**										
ISQT	0.132	−0.116	0.761**	0.423	0.868**									
L10%	0.362	0.566**	−0.369	−0.043	−0.444	−0.553*								
L30%	0.370	0.446*	−0.146	0.073	−0.143	−0.302	0.712**							
L50%	0.336	0.370	−0.159	0.097	−0.128	−0.204	0.564**	0.981**						
VMAX	0.747**	0.795**	−0.170	0.447*	−0.014	−0.209	0.559*	0.324	0.228					
T₃₀	−0.734**	−0.787**	0.084	−0.534*	0.059	0.168	−0.560*	−0.342	−0.249	−0.977**				
T_{30-20BM}	−0.671**	−0.744**	0.090	−0.379	0.053	0.307	−0.724**	−0.414	−0.288	−0.944**	0.933**			
T_{30-40BM}	−0.688**	−0.645**	0.183	−0.362	0.036	0.241	−0.638**	−0.399	−0.409	−0.709**	0.691**	0.776**		
T_{30-60BM}	−0.655**	−0.728**	0.210	−0.336	−0.059	0.279	−0.672**	−0.633**	−0.561*	−0.839**	0.800**	0.787**	0.695**	
T_{30-80BM}	−0.833**	−0.689**	0.153	−0.340	−0.028	0.126	−0.482*	−0.485*	−0.505*	−0.761**	0.680**	0.815**	0.675**	0.638**

*Correlación significativa para $p < 0.05$. **Correlación significativa para $p < 0.01$. ***Correlación significativa para $p < 0.001$. CMJ: salto con contramovimiento; SJ: sentadilla con salto; PP_{rel}: potencia pico relativa al peso corporal; 1RM-SQ: repetición máxima estimada en el ejercicio sentadilla; 1RM-SQ_{rel}: 1RM relativa al peso corporal en el ejercicio sentadilla; ISQT_{rel}: fuerza relativa al peso corporal en el ejercicio sentadilla isométrica; ISQT: fuerza absoluta en el ejercicio sentadilla isométrica; T₃₀: tiempo de sprint en 30 m; T_{30-20BM}: tiempo de sprint en 30-m con una carga del 20% PC; T_{30-40BM}: tiempo de sprint en 30-m con una carga del 40% PC; T_{30-60BM}: tiempo de sprint en 30-m con una carga del 60% PC; T_{30-80BM}: tiempo de sprint en 30 m con una carga del 80% PC; L10%: carga necesaria para un 10% de pérdida de velocidad; L30%: carga necesaria para un 30% de pérdida de velocidad; carga necesaria para un 50% de pérdida de velocidad; Vmáx: velocidad máxima alcanzada en el sprint sin carga añadida.

Tabla 3. Correlaciones entre SIST y SIST_{rel}, y las variables de fuerza, saltos y sprint en jugadores de rugby.

Variables	SIST _{rel}			SIST		
	Correlaciones	p-valor	Descripción	Correlaciones	p-valor	Descripción
CMJ	0.211	0.373	débil	-0.328	0.158	débil
SJ	0.284	0.225	débil	-0.299	0.200	débil
CMJ-PP_{rel}	0.290	0.214	débil	-0.221	0.349	débil
SJ-PP_{rel}	0.293	0.210	débil	-0.281	0.231	débil
1RM-SQ	0.210	0.930	débil	0.674	< 0.001	moderada
1RM-SQ_{rel}	-0.039	0.870	débil	-0.023	0.925	débil
ISQT_{rel}	-0.071	0.767	débil	0.349	0.122	débil
ISQT	-0.027	0.910	débil	0.681	< 0.001	moderada
SIST_{rel}	-	-	-	0.453	0.045	moderada
SIST	0.453	0.045	moderada	-	-	-
L10%	0.508	0.022	moderada	-0.302	0.195	débil
L30%	0.675	< 0.001	moderada	-0.008	0.975	débil
L50%	0.645	0.002	moderada	-0.021	0.930	débil
VMax	0.049	0.838	débil	-0.315	0.176	débil
T₃₀	-0.120	0.613	débil	0.269	0.252	débil
T_{30-20BM}	0.014	0.952	débil	0.358	0.121	débil
T_{30-40BM}	-0.046	0.848	débil	0.453	0.045	moderada
T_{30-60BM}	-0.310	0.184	débil	0.239	0.310	débil
T_{30-80BM}	-0.037	0.877	débil	0.377	0.101	débil

CMJ: salto con contramovimiento; SJ: sentadilla con salto; PP_{rel}: potencia pico relativa al peso corporal; 1RM-SQ: repetición máxima estimada en el ejercicio sentadilla; 1RM-SQ_{rel}: 1RM relativa al peso corporal en el ejercicio sentadilla; ISQT_{rel}: fuerza relativa al peso corporal en el ejercicio sentadilla isométrica; ISQT: fuerza absoluta en el ejercicio sentadilla isométrica; SIST_{rel}: fuerza isométrica en el test específico relativa al peso corporal; SIST: fuerza absoluta isométrica en el test específico; T₃₀: tiempo de sprint en 30-m; T_{30-20BM}: tiempo de sprint en 30 m con una carga del 20% PC; T_{30-40BM}: tiempo de sprint en 30-m con una carga del 40% PC; T_{30-60BM}: tiempo de sprint en 30-m con una carga del 60% PC; T_{30-80BM}: tiempo de sprint en 30-m con una carga del 80% PC; L10%: carga necesaria para un 10% de pérdida de velocidad; L30%: carga necesaria para un 30% de pérdida de velocidad; carga necesaria para un 50% de pérdida de velocidad; Vmáx: velocidad máxima alcanzada en el sprint sin carga añadida.

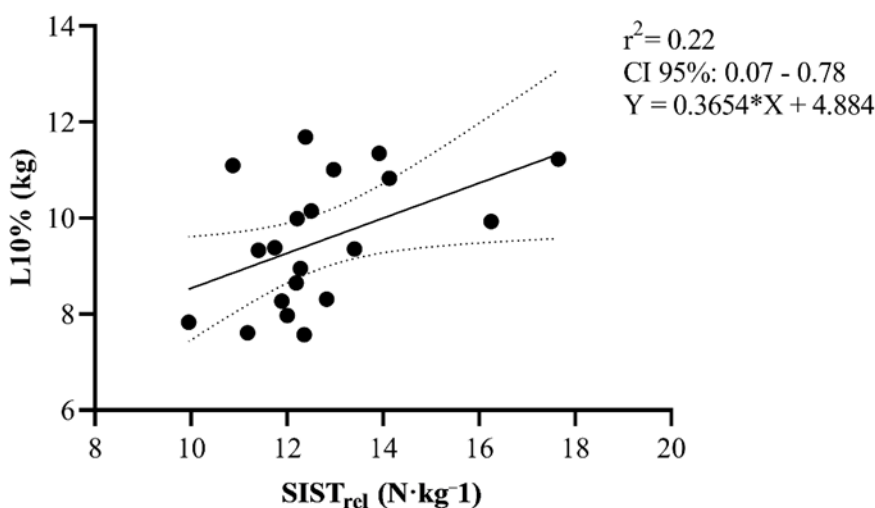


Figura 3. Gráfica de la correlación entre la prueba de fuerza isométrica específica relativa (SIST_{rel}) (N·kg⁻¹) y la carga necesaria para alcanzar el 10% de pérdida de velocidad durante el entrenamiento resistido en jugadores de rugby masculinos. La línea discontinua muestra un intervalo de confianza (IC) del 95%.

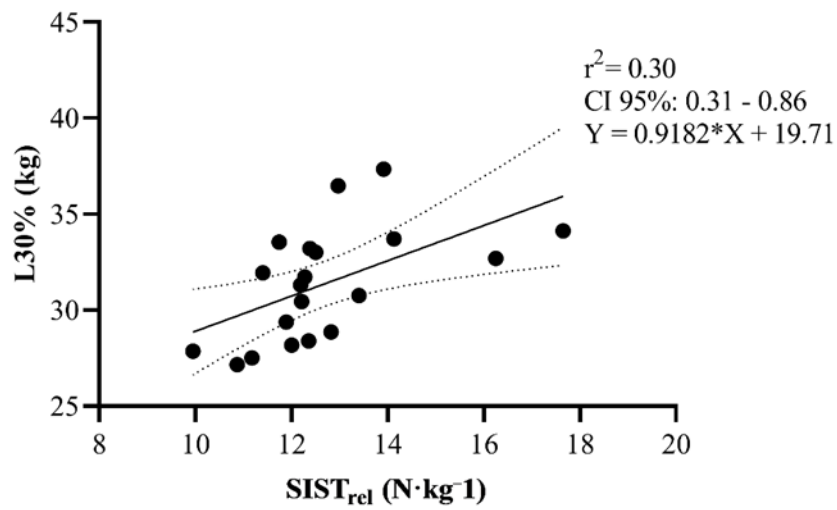


Figura 4. Gráfica de la correlación entre la prueba de fuerza isométrica específica relativa (SISTrel) ($\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$) y la carga necesaria para alcanzar el 30% de pérdida de velocidad durante el entrenamiento resistido en jugadores de rugby masculinos. La línea discontinua muestra un intervalo de confianza (IC) del 95%.

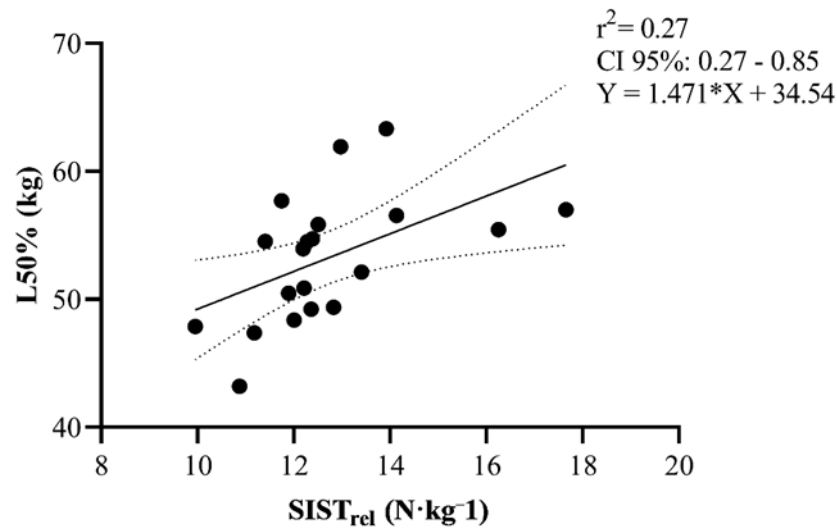


Figura 5. Gráfica de la correlación entre la prueba de fuerza isométrica específica relativa (SISTrel) ($\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$) y la carga necesaria para alcanzar el 50% de pérdida de velocidad durante el entrenamiento resistido en jugadores de rugby masculinos. La línea discontinua muestra un intervalo de confianza (IC) del 95%.

6.4 Discusión

Los objetivos del presente estudio fueron explorar las relaciones entre SIST y los tiempos de sprint en diferentes condiciones de carga durante el RST y $V_{\text{máx}}$ en jugadores de rugby amateur. En línea con nuestra hipótesis, nuestros resultados demostraron que el SIST_{rel} diseñado para el presente estudio está significativamente correlacionado con las cargas necesarias para alcanzar el 10%, 30% y 50% de V_{loss} durante RST. Los hallazgos actuales indican que SIST_{rel} es una prueba confiable y que puede medir específicamente una aplicación de fuerza más orientada horizontalmente, explicando en parte de la respuesta individual de cada atleta durante RST. SIST_{rel} también se podría utilizar para prescribir y cuantificar cargas en RST, de una manera más objetiva e individual.

Las cargas necesarias para alcanzar el 10% y 30% de V_{loss} durante RST demostraron correlaciones *moderadas* con la altura de SJ. En general, estas correlaciones disminuyeron a medida que aumentaron las cargas. Además, se encontraron correlaciones *moderadas a fuertes* entre $V_{\text{máx}}$, SJ y CMJ (altura de salto), aunque no hemos encontrado una correlación entre $V_{\text{máx}}$ y SIST o SIST_{rel} . Además, se encontraron correlaciones importantes entre la altura del salto en ambos tipos de salto y T_{30} y los tiempos en 30-m durante RST en todas las condiciones de carga.

Incrementar la aplicación de fuerza en dirección horizontal puede ser beneficioso para mejorar el rendimiento en sprints cortos en jugadores profesionales de rugby (de Lacey et al., 2014). En el presente estudio, se encontraron correlaciones importantes entre las cargas necesarias para alcanzar el 10%, 30% y 50% de V_{loss} , y las variables de rendimiento en sprint y saltos. Nuestros resultados indican que se han hallado correlaciones entre *moderadas y fuertes* en las variables $V_{\text{máx}}$ con la altura en CMJ y SJ, y estos resultados están en línea con los encontrados en velocistas de élite (Loturco et al., 2015), velocistas y saltadores (Loturco et al., 2018), jugadores profesionales de rugby (Cronin & Hansen, 2005; Cunningham et al., 2013). Estos hallazgos están respaldados no sólo por el hecho que la altura de salto se correlacionó con $V_{\text{máx}}$, sino también porque T_{30} y los tiempos de RST y (es decir, $T_{30-20\text{BM}}$, $T_{30-40\text{BM}}$, $T_{30-60\text{BM}}$, $T_{30-80\text{BM}}$) se correlacionaron fuertemente con ambos tipos de salto y $V_{\text{máx}}$. En contraste, un estudio reciente en jugadores de rugby de élite (Jiménez-Reyes et al., 2018) no informó correlaciones significativas entre los tiempos de sprint y la altura del salto. La diferencia más notable entre correr y saltar es que la primera requiere que la fuerza resultante se dirijan más horizontalmente, mientras que la segunda requiere una dirección vertical de las

fuerzas (Hansen, Cronin, Pickering, & Douglas, 2011). Sin embargo, en las fases posteriores del sprint, donde los atletas corren a velocidades cercanas o incluso $V_{\text{máx}}$, las acciones con dirección verticalmente (es decir, saltar) parecen estar estrechamente asociadas (Loturco et al., 2018). Estos hallazgos tienen implicaciones útiles para los profesionales de manera que la altura del salto y $V_{\text{máx}}$ podrían usarse no sólo para identificar futuros talentos y monitorizar el entrenamiento, sino también como estrategias de entrenamiento de fuerza, donde el objetivo debería ser maximizar la capacidad de salto y, por lo tanto, el rendimiento del sprint.

Con respecto las cargas de RST, los hallazgos actuales demostraron que la altura de salto en SJ, pero no en CMJ, se correlacionaron *moderadamente* con L10% y L30%, pero no con L50%, y esta asociación disminuyó en función del incremento de carga. Investigaciones previas (Martínez-Valencia, González-Ravé, Santos-García, Alcaraz, & Navarro-Valdivielso, 2014) informaron que el aumento en las cargas implica una disminución en el rendimiento del sprint en 20-m cuando los atletas corrieron en diferentes condiciones (trineos sin resistencia y con cargas entre 5% y 30% PC). Los hallazgos actuales sugieren que, al correr con cargas más pesadas, las variables que se correlacionan con el rendimiento de sprint son diferentes que cuando se corren sin carga añadida. Esto confirma que el entrenamiento de RST con cargas pesadas es bastante diferente al sprint descargado. Además, la altura de salto es la variable que explica gran parte de la respuesta individual de cada atleta durante el sprint sin carga y los tiempos de RST y $V_{\text{máx}}$. Estos resultados sugieren que los jugadores de rugby más rápidos en el presente estudio posiblemente puedan alcanzar mayores alturas de CMJ y SJ.

Con respecto a la relación entre las medidas de fuerza durante 1RM-SQ y ISQT, $V_{\text{máx}}$ y las cargas necesarias para alcanzar el 10%, 30% y 50% de Vloss, los hallazgos actuales mostraron que ambas pruebas de fuerza están moderadamente correlacionadas entre sí, aunque no se encontraron correlaciones significativas con las variables del rendimiento en sprint. De hecho, sólo 1RM-SQ_{rel} mostró una correlación *moderada* con $V_{\text{máx}}$. En contraste con estos resultados, un estudio reciente en jugadores de rugby demostró que las medidas de fuerza y potencia pueden usarse para predecir el rendimiento en sprints de 30-m (Furlong et al., 2019). Esto sugiere que las medidas de fuerza tradicionales pueden usarse para explicar el rendimiento del sprint sin carga, pero no $V_{\text{máx}}$ o las cargas necesarias para alcanzar un porcentaje de Vloss durante RST. Además, las correlaciones *moderadas* encontradas entre los tiempos de sprint y fuerza podrían deberse, en parte, a la muestra homogénea, cuando se considera que los participantes eran todos jugadores de rugby amateur.

Según el conocimiento de los autores, este es el primer estudio en diseñar una prueba específica de fuerza isométrica de sprint, e investigar cómo se relaciona esta prueba con el rendimiento de los jugadores durante el sprint sin carga y RST. Un hallazgo importante del presente estudio indica que ambas pruebas isométricas (ISQT, SIST y SIST_{rel}) están moderadamente correlacionadas entre sí, y lo más importante, que el nuevo test SIST_{rel} demostró correlaciones *moderadas* con L10%, L30% y L50%, pero no con V_{máx}. Esto último podría explicarse por que las medidas de fuerza isométrica sólo se correlacionan con el rendimiento del sprint durante la fase de aceleración (Brady et al., 2020), pero no con las fases posteriores del sprint. Esta información podría ayudar a los entrenadores a identificar pruebas más apropiadas para monitorizar los efectos del entrenamiento, prescribir cargas para RST y evaluar de manera precisa el perfil específico de fuerza-velocidad de un atleta, lo cual ayudaría en el diseño futuro del programa de entrenamiento. Además, hemos observado correlaciones de *moderadas a fuertes* entre todas las cargas entre sí, mientras que L10% fue la única carga correlacionada con V_{máx}. Como se mencionó anteriormente, los factores limitantes del rendimiento del sprint sin carga parecen ser bastante diferentes de los que determinan el rendimiento del RST con cargas pesadas.

Existen algunas limitaciones potenciales para el estudio actual, ya que la investigación futura debería centrarse en la validación de la prueba con respecto al SIST. Los autores también destacan el hecho de que no hubo un período de familiarización previo a la recopilación de datos y que no se utilizó una posición angular estandarizada en SIST; sin embargo, todos los jugadores recibieron instrucciones de posicionarse en una posición cómoda y adecuada, similar a la adoptada durante los comienzos de sprint. En este sentido, sería útil realizar más estudios con una muestra más amplia de jugadores y una población de mayor nivel para investigar los posibles efectos de esta nueva prueba en los resultados del estudio actual. Los autores reconocen que este estudio es el primer paso para mejorar nuestra comprensión de la relación entre las variables de fuerza, velocidad y las cargas necesarias para alcanzar un porcentaje de pérdida de velocidad durante la RST.

6.5 Conclusiones

El SIST_{rel} que mide la aplicación de fuerza resultante en una posición más relacionada con el sprint explica gran parte de la respuesta individual de cada atleta durante el sprint con trineos de arrastre y también podría utilizarse para prescribir y cuantificar cargas durante RST de una

manera más objetiva e individual. Adicionalmente, hemos encontrado correlaciones de importantes entre $V_{\text{máx}}$, SJ y CMJ (altura), aunque $V_{\text{máx}}$ no se asoció a SIST o SIST_{rel} .

6.6 Aplicaciones Prácticas

Este estudio muestra la relevancia que tienen las acciones de salto como SJ, CMJ y la fuerza isométrica y dinámica de miembros inferiores para el rendimiento en sprints sin carga (T_{30} y $V_{\text{máx}}$), los tiempos de sprint durante RST y las cargas necesarias para alcanzar el 10%, 30% y 50% de V_{loss} . Los entrenadores y profesionales del deporte podrían comprender mejor las variables de entrenamiento que afectan el rendimiento del sprint al incluir este nuevo tests SIST y SIST_{rel} en la evaluación de las capacidades relacionadas con la fuerza. En este sentido, son muchos los factores que influyen en la capacidad del músculo para generar potencia, por lo que el entrenamiento de la potencia muscular requiere un cuidado especial en la prescripción de ejercicio adecuado (Kraemer & Newton, 2000).

Para los entrenadores y profesionales involucrados en el rugby, esta prueba puede ser utilizada para determinar la capacidad de los atletas para tolerar cargas de RST durante el entrenamiento específico de sprint y para diseñar sesiones de entrenamiento orientadas a desarrollar la fuerza y la potencia específica de los miembros inferiores en los jugadores de rugby, lo que a su vez podría impactar positivamente en la mejora del rendimiento de la velocidad de sprint. Se recomienda que los futuros trabajos de investigación se centren en replicar la prueba isométrica específica y se considere que los participantes se coloquen en la posición correcta (posición del cuerpo similar a un inicio de sprint) y evitar en todo momento cualquier movimiento en las articulaciones.

VII. ARTÍCULO III



7 Artículo III: Factores determinantes del rendimiento físico según las posiciones específicas en jugadores de rugby

7.1 Introducción

El rugby es un deporte físicamente exigente que requiere que los jugadores realicen acciones de alta intensidad y velocidad máxima que resultan determinantes para el resultado final del juego (Gabbett, 2002; Smart et al., 2014; Wheeler & Sayers, 2009). Además, aquellos jugadores que poseen más velocidad rompen la línea de ventaja y los tackles, evaden a sus defensores y anotan ensayos con mayor frecuencia (Smart et al., 2014). En ese sentido, la fuerza y la potencia son cualidades físicas claves para el rendimiento en deportes de contacto como el rugby y el fútbol americano, aunque también son componentes indispensables en los programas de entrenamiento en deportistas de élite (Hansen, Cronin, Pickering, & Newton, 2011; Nagayama et al., 2019). También se ha demostrado que el momento lineal de sprint ([SM], es decir, el producto de la velocidad máxima y la masa corporal) es capaz de discriminar a los deportistas de rugby y rugby league según el nivel y las posiciones de juego (Baker & Newton, 2008; Darrall-Jones et al., 2016).

Investigaciones anteriores han señalado que el rugby potencialmente agrupa a una gama más amplia de morfologías corporales que muchos otros deportes de conjunto, en donde además varias de estas posiciones de juego están asociadas con morfologías corporales muy particulares (Kearney, 2017). Las posiciones en el rugby generalmente se denominan como delanteros y backs (Duthie et al., 2003). Específicamente, los delanteros participan en scrums y line-outs y los backs participan en más acciones de juego abierto (Darrall-Jones et al., 2016). En cuanto al rendimiento deportivo, los backs suelen cubrir distancias mayores a velocidades más altas que los delanteros, tanto en entrenamiento como en competición (Quarrie et al., 2017). Del mismo modo, varios estudios han informado diferencias significativas entre delanteros y backs en diferentes pruebas de rendimiento físico (Da Cruz-Ferreira & Ribeiro, 2013; Darrall-Jones et al., 2015). Los delanteros han demostrado una capacidad aeróbica más baja y un rendimiento más bajo en sprints y agilidad comparado con los backs (Da Cruz-Ferreira & Ribeiro, 2013). Un estudio reciente con jugadores de rugby brasileños mostró diferencias importantes a favor de los backs en pruebas aeróbicas, capacidad de salto y sprints de hasta 30-m (Nakamura et al., 2017). Sin embargo, todavía no se han establecido diferencias posicionales específicas en las pruebas de rendimiento físico, aunque si se ha reportado que existen algunas diferencias claras con respecto a las demandas del juego por puestos específicos (Duthie et al., 2003; Read et al.,

2017). Tanto delanteros como backs también se clasifican en diferentes sub-grupos posicionales de la siguiente manera: los delanteros se organizan en primeras, segundas y terceras líneas, mientras que los backs se dividen en backs internos y externos (Fontana et al., 2015). Cada posición ha demostrado tener diferentes requisitos físicos, destrezas y tareas específicas (Duthie et al., 2003; Nicholas, 1997). De acuerdo con esto, obtener información más detallada a partir de pruebas de condición física permitirá a los entrenadores diseñar programas de entrenamiento de acuerdo con los requisitos específicos del juego y permitirá programas más efectivos para maximizar el rendimiento en cada posición de juego.

El perfil de fuerza-velocidad (Fv) es un enfoque simple y novedoso para evaluar las capacidades de producción de fuerza y velocidad de los atletas durante acciones balísticas como el salto y el sprint (Samozino et al., 2008, 2016). Se ha postulado que existe un perfil Fv “óptimo” teórico que puede determinarse con precisión y representa un equilibrio entre las capacidades de fuerza y velocidad (Samozino et al., 2012). Basado en este enfoque, se puede identificar si un atleta posee un déficit de fuerza o velocidad en una acción dada, independientemente de su potencia máxima ($P_{\text{máx}}$). A este respecto, se ha demostrado que para una $P_{\text{máx}}$ específica, existe un desequilibrio entre la fuerza teórica máxima (F_0) y la velocidad máxima teórica (V_0) que podría conducir a una pérdida de rendimiento en la capacidad de salto de hasta un 30% (Samozino et al., 2012). La pérdida de rendimiento, dependiendo del desequilibrio de Fv (Fv_{imb}), indicaría qué tan lejos (expresado en %) está un atleta de un perfil Fv “óptimo”. Investigaciones recientes (Jiménez-Reyes et al., 2018) han comparado los perfiles Fv de sprint y salto en más de 500 atletas involucrados en diferentes disciplinas deportivas como baloncesto, fútbol sala, gimnasia, balonmano, judo, karate, rugby y fútbol, donde los autores mencionan que ésta es una herramienta útil para diferenciar entre diferentes modalidades deportivas. Sin embargo, hasta donde sabemos, aún no se han analizado las posibles diferencias en el perfil Fv “actual”, entre posiciones de juego específicas en jugadores de rugby. Sería de gran interés proporcionar a los profesionales de fuerza y acondicionamiento físico valores de referencia para las características del perfil Fv de salto en las diferentes posiciones de juego de rugby.

Las relaciones entre diferentes pruebas de rendimiento físico, como sprints y saltos, se han examinado ampliamente (Comfort et al., 2014; Seitz et al., 2014; Sleivert & Taingahue, 2004). Estos estudios generalmente revelaron relaciones significativas entre las pruebas de salto tradicionales (i.e. SJ y CMJ) y las pruebas de velocidad. A este respecto, se han encontrado fuertes correlaciones entre el rendimiento del sprint y el salto en jugadoras de rugby, y se ha

indicado que la altura de salto en el drop jump obtuvo la mayor correlación con los tiempos de sprint en 30-m (Barr & Nolte, 2011). En jugadores profesionales de rugby masculino, tanto la fuerza relativa ($r = -0.55$) como la potencia relativa ($r = -0.82$) se correlacionaron negativamente con los tiempos de sprint en 10-m (Cunningham et al., 2013). Estos estudios sugieren que la fuerza, la potencia, el salto y la capacidad de sprint parecen estar interrelacionadas. Sin embargo, las correlaciones de estos parámetros dentro de posiciones de juego específicas (i.e. backs y delanteros) no se han analizado previamente. Adicionalmente, tampoco se han analizado hasta el momento las relaciones entre los parámetros mecánicos resultantes del perfil Fv (F_0 , V_0 , $P_{\text{máx}}$ y F_{vimb}) y las características físicas de los jugadores de rugby. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo examinar las diferencias entre las posiciones específicas de juego de rugby en los parámetros del perfil Fv y el rendimiento de sprint, fuerza y salto. Planteamos como objetivo secundario analizar la magnitud de las relaciones entre estas variables de condición física y el perfil Fv respecto del puesto específico en rugby.

7.2 Material y Método

7.2.1 Participantes

Cincuenta y un jugadores ($n = 50$) masculinos de rugby de nivel amateur (edad, 22.9 ± 0.3 años), se ofrecieron como voluntarios para participar en este estudio (backs, $n = 27$; delanteros, $n = 24$). Los participantes tenían un mínimo de diez años de experiencia como jugadores de rugby y pertenecían a dos planteles de clubes que competían en la división más alta de rugby argentino. Normalmente participaron en ~6 sesiones de entrenamiento semanales (3 sesiones de entrenamiento de fuerza y velocidad, y 3-4 sesiones específicas de rugby) y una competencia semanal. No se informaron limitaciones físicas ni lesiones muscular esqueléticas que pudieran afectar el resultado de las pruebas. El estudio cumplió con los estándares éticos y fue aprobado por un Comité de Ética de Investigación Institucional y se ajustó a las recomendaciones de la Declaración de Helsinki. Después de ser informados sobre el propósito y los procedimientos experimentales, los participantes firmaron un formulario de consentimiento informado por escrito antes de iniciar la participación en el presente estudio.

7.2.2 Diseño y Procedimientos

Este estudio se realizó en tres días no consecutivos durante un período de 5 días, con un descanso de 48 horas entre cada sesión para evitar la fatiga. Los participantes completaron las pruebas físicas durante las vacaciones de invierno dentro del período competitivo. Durante la

primera sesión de prueba, cada participante se sometió a pruebas de características antropométricas (PC y altura) y sprint en 30-m. Durante la segunda sesión de evaluaciones, se realizaron las pruebas del perfil Fv de salto e incluyendo además el salto CMJ. Finalmente, en la tercera sesión de evaluaciones, se realizó test de cargas progresivas para estimar la 1RM en ejercicios de sentadilla (SQ) y de press de banca (BP). Los participantes se dividieron en dos grupos según la posición de juego (delanteros y backs). Para un análisis más detallado, los grupos se subdividieron en: backs, backs internos (IB; n = 16) y externos (OB; n = 12); y los delanteros, primera línea (FR; n = 13) y delanteros restantes (BF; n = 11). Se les pidió a los jugadores que no realizaran ejercicio intenso el día antes de la prueba y que consumieran su última comida al menos 3 horas antes del tiempo de prueba programado. Todas las sesiones fueron supervisadas por un especialista certificado en fuerza y acondicionamiento físico, y se realizaron a la misma hora del día para cada participante.

7.2.3 Tests

Durante las dos semanas anteriores a este estudio, se realizaron dos sesiones preliminares de familiarización para mejorar la técnica de los saltos con cargas y los ejercicios de SQ y BP. El PC y la altura se determinaron usando una balanza-tallímetro (Seca 710, Seca Ltd., Hamburgo, Alemania) con los jugadores en ayunas y usando sólo ropa interior. Antes de las pruebas, todos los sujetos realizaron un calentamiento estandarizado que consistía en una carrera de intensidad submáxima de 5 minutos seguida de ejercicios de movilidad articular y luego un calentamiento específico para cada prueba.

7.2.4 Test de velocidad de sprint

Los participantes realizaron tres sprints de 30-m en un campo de rugby (césped natural), con tres minutos de recuperación entre cada repetición. El protocolo de calentamiento consistió en 5 minutos de carrera suave, movilidad articular, desplazamientos multidireccionales y sprints progresivos de 10 a 30-m, con una duración total de 20 minutos. La prueba comenzó de pie, colocando el pie delantero justo detrás de una línea a 0.5-m de la primera puerta de fotocélulas. Las células fotoeléctricas (Chronojump, Boscosystem, Barcelona, España) se colocaron a 0, 5, 10, 20 y 30-m. Se alentó a los participantes a correr los 30-m lo más rápido posible. Se registraron tres intentos en las siguientes distancias: 0-5 m (T5) y 0-30 m (T30). La velocidad máxima ($V_{\text{máx}}$) se calculó dividiendo la relación de 10-m y el tiempo dividido por el tramo más rápido de 20-30 m, y el SM se calculó multiplicando el PC de cada sujeto por su $V_{\text{máx}}$ respectiva (Jalilvand et al., 2019). Se registró el mejor tiempo de sprint de todas las repeticiones para su posterior análisis. El coeficiente de correlación intraclase (ICC) y el coeficiente de

variación (CV) se calcularon para proporcionar la fiabilidad relativa y absoluta. Los valores ICC y CV para T5 fueron 0.89 y 0.1%, y para T30 fueron 0.98 y 0.7%, respectivamente.

7.2.5 Prueba de salto y perfil de fuerza-velocidad

Las pruebas de salto se realizaron utilizando una plataforma de salto portátil (Chronojump, Boscosystem, Barcelona, España) tal como se indicó anteriormente (Comfort et al., 2014). Dado que las posiciones de despegue y aterrizaje pueden afectar los resultados de la prueba (altura del salto), los participantes recibieron instrucciones precisas de mantener los pies extendidos durante el salto hasta el aterrizaje. El protocolo de calentamiento consistió en 5 minutos de trote de baja intensidad y 10 minutos de ejercicios de movilización, incluyendo estocadas y sentadillas con peso corporal, y finalmente dos series de 4 repeticiones de salto CMJ. Para la evaluación, se realizaron 5 CMJ con las manos en las caderas, haciendo sentadillas con un ángulo de flexión de la rodilla de aproximadamente 90°, para luego extenderse inmediatamente hacia un salto vertical máximo, utilizando una pausa de 15 segundos de recuperación entre cada uno. Con respecto a la prueba de perfil Fv, se tomaron las mediciones de las extremidades inferiores y los parámetros mecánicos para todas las condiciones utilizando el método propuesto por Samozino (Samozino et al., 2008). Una descripción detallada del protocolo y los procedimientos de prueba utilizados en este estudio ha sido informada recientemente (Marcote-Pequeño et al., 2019). Brevemente, consiste en realizar saltos SJ, comenzando desde una posición de 90° en la articulación de la rodilla, sin realizar ningún contra-movimiento previo al salto. Esta prueba se realizó con un bastón de madera para el SJ sin carga y una barra olímpica (Taurus, Buenos Aires, Argentina) para el SJ con cargas. Antes de cada salto, se les indicó a los participantes que se pararan con el palo o la barra en los hombros con un cómodo agarre durante toda la duración del movimiento. Se realizaron dos repeticiones con cada condición de carga y se nombraron de la siguiente manera: SJ (0 kg), SJ20 (20 kg), SJ30 (30 kg), SJ40 (40 kg), SJ50 (50 kg). Se usó un intervalo de recuperación de 2 minutos entre saltos y 4 minutos entre cargas. La altura de salto más alta para cada condición se seleccionó para su posterior análisis. La relación entre CMJ y SJ (Ratio CMJ/SJ) se obtuvo para expresar la relación de utilización de contramovimiento (Van Hooren & Zolotarjova, 2017). Los valores de fiabilidad (ICC y CV, respectivamente) para todos los saltos fueron los siguientes: CMJ (0.97 y 4.5%), SJ (0.95 y 4.7%), SJ20 (0.95 y 5.2%), SJ30 (0.96 y 4.3%), SJ40 (0.97 y 4.2%), SJ50 (0.95 y 5.5%). El coeficiente de determinación de la prueba de perfil Fv fue $r^2 = 0.94$.

7.2.6 Test isoinercial de cargas progresivas

La fuerza absoluta se evaluó mediante la estimación de la 1RM para los ejercicios SQ (1RM-SQ) y BP (1RM-BP) utilizando un transductor de posición lineal (Chronojump, Boscosystem, Barcelona, España) para controlar la velocidad de ejecución (Vivancos et al., 2014). La evaluación comenzó después de un protocolo de calentamiento específico utilizado previamente (Sánchez-Medina et al., 2017). Ambos ejercicios se realizaron con pesos libres (Taurus, Buenos Aires, Argentina), y en todo momento se verificó el desplazamiento vertical de la barra en cada repetición. Los sujetos realizaron la sentadilla completa desde una posición vertical, descendiendo a una velocidad controlada ($\sim 0.50\text{-}0.70\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) hasta que el muslo superó la horizontal con respecto al suelo y con la barra apoyada en la parte superior de la espalda. Los participantes recibieron instrucciones de realizar la fase concéntrica del movimiento a la máxima velocidad posible y no se les permitió saltar ni despegar la barra de los hombros. La carga inicial en SQ se estableció en 40 kg para todos los participantes y se incrementó gradualmente en 5-10 kg. Se realizaron tres repeticiones con cada carga con un intervalo de descanso de 3-min entre cada serie. Cuando los sujetos alcanzaron una velocidad media propulsiva cercana a $\sim 0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, la prueba concluyó y se estimó el 1RM a partir de la velocidad máxima alcanzada contra la carga más pesada utilizando la fórmula provista para SQ (Sánchez-Medina et al., 2017). El ejercicio PB se realizó a partir de una extensión completa de los codos y descendiendo a una velocidad controlada hasta que la barra descansó en la parte alta del pecho del participante. Para evitar el rebote, se interpuso una pausa de ~ 1 segundo entre la fase excéntrica y la concéntrica. La carga inicial de la prueba se estableció en 20 kg y se incrementó gradualmente en 5-10 kg. Se realizaron tres repeticiones con cada carga con un intervalo de descanso de 3-min entre cada serie. Cuando los participantes alcanzaron una velocidad media propulsiva cercana a $\sim 0.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, la prueba concluyó y se estimó el 1RM a partir de la velocidad máxima alcanzada con la carga más pesada utilizando la fórmula provista para BP (González-Badillo et al., 2010). Una vez que se obtuvieron los valores de 1RM en cada ejercicio, los valores de fuerza relativa se calcularon como la relación entre 1RM absoluta en cada ejercicio y PC (SQ/PC y BP/PC).

7.2.7 Análisis Estadístico

Los datos se presentan como media y desviación estándar (DE). La distribución de cada variable se verificó mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. La fiabilidad intrasesión se calculó mediante el CV y el ICC con un IC del 95%, calculado con el modelo de efectos aleatorios de una vía. Se utilizó un ANOVA unidireccional para examinar las diferencias entre

las posiciones de juego. Además, se calculó el tamaño del efecto de Cohen (ES), con un intervalo de confianza del 90%. Los valores de umbral para las estadísticas de ES fueron: > 0.2 pequeño, > 0.6 moderado, > 1.2 grande, > 2.0 muy grande y > 4.0 casi perfecto (Hopkins et al., 2009). La valoración cualitativa se realizó de acuerdo con los siguientes umbrales: $< 1\%$, seguro que no; $1-5\%$, muy poco probable; $5-25\%$, poco probable; $25-75\%$, posible; $75-95\%$, probable; $95-99\%$, muy probable; y $> 99\%$, casi seguro (Suarez-Arrones et al., 2014). Si la posibilidad de obtener puntuaciones mejores y peores fue $> 5\%$, la verdadera diferencia se consideró como no es clara. Las correlaciones entre variables se determinaron utilizando las correlaciones de Pearson (r) o Spearman para el caso de no normalidad. Este análisis se calculó para delanteros y backs por separado. Los valores de r se interpretaron como débiles (≤ 0.39), moderados ($\geq 0.40-0.69$) o fuertes (≥ 0.70) (Cohen, 2013). La significancia estadística se estableció en el nivel $p \leq 0.05$. Los valores de ES se calcularon utilizando una hoja de cálculo especialmente diseñada (Hopkins, 2006). El paquete estadístico SPSS (versión 24.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) para Microsoft Windows se utilizó para el resto de análisis estadísticos.

7.3 Resultados

Las comparaciones entre backs y delanteros se informan en la *Tabla 1*. Los delanteros demostraron un PC y altura significativamente más altas que los backs ($p < 0.001-0.05$). Los backs lograron un mayor rendimiento de sprint (T5, T30 y V_{máx}) respecto de los delanteros ($p < 0.001-0.01$), mientras que éstos mostraron un SM más alto ($p < 0.001$). Con respecto a la fuerza absoluta, los delanteros mostraron valores más altos de 1RM-SQ ($p = 0.012$) y 1RM-BP ($p = 0.058$) que los backs. No se observaron diferencias significativas en los valores de fuerza relativa, aunque los backs mostraron una BP/PC con tendencia a la significación ($p = 0.069$) mayor que los delanteros. De acuerdo con el perfil Fv, no se observaron diferencias significativas entre las posiciones para ninguna variable, excepto para F0, donde los backs mostraron valores más altos que los delanteros ($p = 0.027$). No se observaron diferencias significativas para ninguna variable de salto. El análisis de ES y su respectiva interpretación cualitativa se representan en la Figura 1a. Las comparaciones entre posiciones de juego específicas (backs: OB vs. IB; delanteros: FR vs. BF) se informan en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Rendimiento medio (\pm DE) y diferencias en características antropométricas, sprint, fuerza, perfiles de fuerza-velocidad y salto entre posiciones específicas de rugby.

VARIABLES	PLAYING POSITION			BACKS			FORWARDS		
	BACKS	DELANTEROS	P-valor	EXTERNOS	INTERNOS	P-valor	RESTANTES	PRIMERA LÍNEA	P-valor
<i>Altura (cm)</i>	175.96 \pm 5.74	180.04 \pm 8.18	0.040	175.27 \pm 5.93	176.44 \pm 5.76	0.617	183.27 \pm 7.23	177.31 \pm 8.19	0.071
<i>PC (kg)</i>	80.4 \pm 8.80	96.3 \pm 14.00	< 0.001	77.98 \pm 7.47	82.06 \pm 9.47	0.223	89.30 \pm 8.19	104.45 \pm 13.74	0.004
<i>T5 (s)</i>	0.90 \pm 0.03	0.94 \pm 0.05	0.007	0.90 \pm 0.03	0.90 \pm 0.04	0.777	0.92 \pm 0.05	0.95 \pm 0.05	0.081
<i>T30 (s)</i>	4.13 \pm 0.12	4.34 \pm 0.21	< 0.001	4.12 \pm 0.06	4.14 \pm 0.14	0.638	4.23 \pm 0.22	4.43 \pm 0.15	0.017
<i>Vmax (m·s⁻¹)</i>	8.41 \pm 0.35	7.88 \pm 0.54	< 0.001	8.47 \pm 0.35	8.37 \pm 0.35	0.467	8.16 \pm 0.51	7.73 \pm 0.32	0.028
<i>SM (kg·m·s⁻¹)</i>	676 \pm 76.13	763.79 \pm 91.54	< 0.001	659.91 \pm 67.26	687.07 \pm 81.91	0.355	725.76 \pm 55.78	787.84 \pm 112.23	0.096
<i>SQ/PC</i>	1.59 \pm 0.22	1.50 \pm 0.25	0.170	1.55 \pm 0.21	1.62 \pm 0.23	0.389	1.58 \pm 0.22	1.43 \pm 0.26	0.154
<i>IRM-SQ</i>	127.53 \pm 19.18	142.93 \pm 22.56	0.012	121.54 \pm 16.59	132.38 \pm 20.07	0.15	140.33 \pm 18.23	152.22 \pm 21.55	0.178
<i>BP/PC</i>	1.31 \pm 0.19	1.21 \pm 0.20	0.069	1.28 \pm 0.19	1.32 \pm 0.19	0.622	1.26 \pm 0.17	1.17 \pm 0.22	0.274
<i>IRM-BP</i>	105.26 \pm 17.72	115.65 \pm 20.18	0.058	101.43 \pm 17.76	108.29 \pm 18.12	0.353	112.26 \pm 16.58	122.02 \pm 20.14	0.217
<i>F0 (N·kg⁻¹)</i>	36.96 \pm 6.21	33.38 \pm 5.04	0.027	37.58 \pm 8.45	36.55 \pm 4.34	0.715	33.79 \pm 2.75	32.69 \pm 4.74	0.462
<i>V0 (m·s⁻¹)</i>	2.77 \pm 0.48	2.95 \pm 1.04	0.448	2.62 \pm 0.48	2.88 \pm 0.47	0.168	2.85 \pm 0.44	2.67 \pm 0.41	0.302
<i>Pmáx (W·kg⁻¹)</i>	25.64 \pm 4.47	24.04 \pm 5.96	0.291	24.18 \pm 4.76	26.64 \pm 4.12	0.180	24.76 \pm 3.20	21.56 \pm 3.66	0.037
<i>Fvimb (%)</i>	86.18 \pm 26.51	76.08 \pm 19.5	0.125	94.27 \pm 33.77	80.63 \pm 19.42	0.246	78.45 \pm 17.44	78.50 \pm 15.17	0.994
<i>CMJ (cm)</i>	35.54 \pm 4.64	33.10 \pm 5.57	0.098	35.72 \pm 5.94	35.43 \pm 3.70	0.885	35.60 \pm 5.07	30.15 \pm 4.44	0.013
<i>SJ (cm)</i>	30.93 \pm 4.15	28.75 \pm 4.93	0.096	30.04 \pm 5.41	31.55 \pm 3.05	0.414	30.75 \pm 3.77	26.19 \pm 4.40	0.014
<i>Ratio CMJ/SJ</i>	1.15 \pm 0.11	1.15 \pm 0.07	0.994	1.20 \pm 0.15	1.12 \pm 0.06	-0.151	1.16 \pm 0.08	1.15 \pm 0.07	0.822

ES: tamaño del efecto de Cohen ; PC: peso corporal; T5: tiempo de sprint de 5-m; T30: tiempo de sprint en 30-m; Vmax: velocidad máxima; SM: momento lineal; SQ/BM: ratio entre 1RM-SQ y PC; 1RM-SQ: 1RM estimada en el ejercicio Sentadilla; BP/BM: ratio entre 1RM-PB y PC; 1RM-BP: 1RM estimada en el ejercicio PB; F0: fuerza máxima teórica, V0: velocidad máxima teórica, Pmáx: potencia máxima; Fvimb: desequilibrio del perfil Fv; CMJ: salto con contramovimiento; SJ: sentadilla con salto; CMJ/SJ: ratio entre CMJ y SJ.

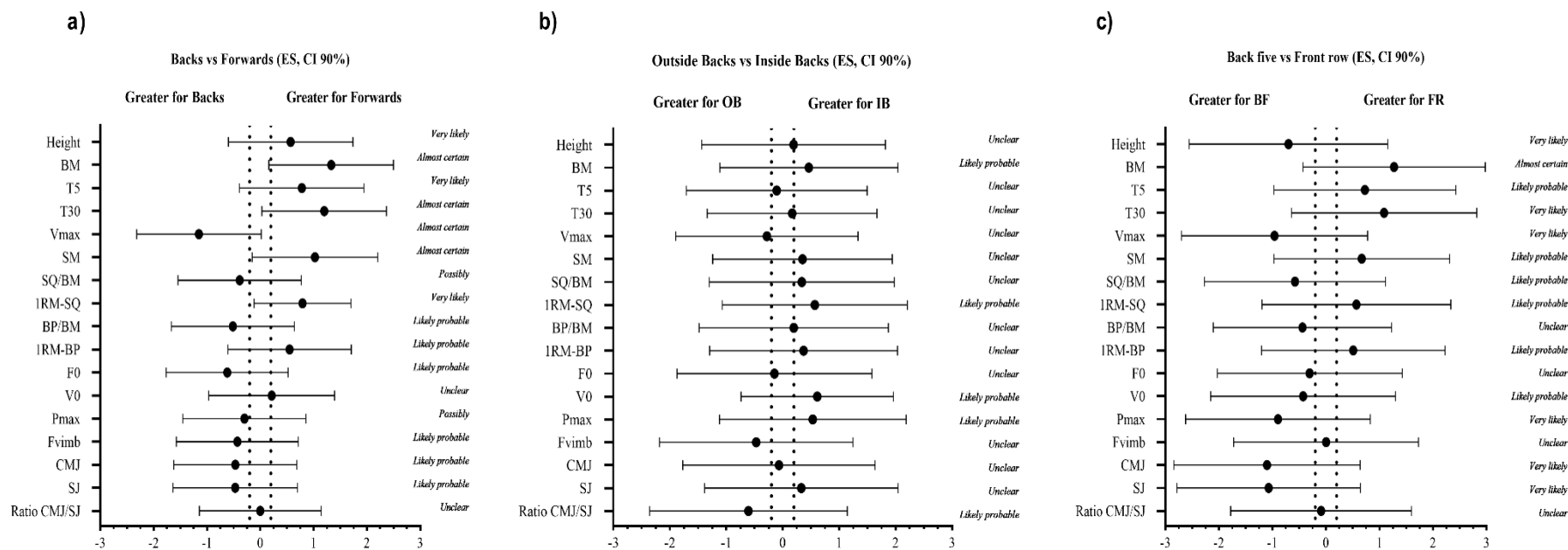


Figura 1. a) Diferencias estandarizadas (ES) y valoración cualitativa en las comparaciones entre Backs y Delanteros; b) Diferencias estandarizadas (ES) y valoración cualitativa en las comparaciones entre backs externos (OB) e internos (IB); c) Diferencias estandarizadas (ES) y valoración cualitativa en las comparaciones entre Delanteros restantes (BF) y Primeras Líneas (FR).

No se observaron diferencias significativas entre OB e IB para ninguna de las variables analizadas. Asimismo, ES mostró diferencias poco claras entre OB e IB para todas las variables analizadas, excepto para PC, 1RM-SQ, V0 y Pmáx, donde IB mostró valores más altos (valoración cualitativa, *probable*) que OB (*Figura 1b*). Mientras que OB mostró una relación CMJ/SJ más alta que IB (valoración cualitativa, *probable*). Por otro lado, FR mostró un PC significativamente mayor que BF ($p = 0.004$), aunque BF demostró valores con tendencia a la significación más altos que FR ($p = 0.071$). BF mostró un mejor rendimiento de sprint que FR (T30: $p = 0.017$; Vmax: $p = 0.028$). Además, BF mostró valores de Pmáx más altos que FR ($p = 0.037$), aunque sin diferencias significativas en el resto de las variables relacionadas con la fuerza o el perfil de Fv. Con respecto a las pruebas de salto, BF alcanzó valores más altos de CMJ y SJ que FR ($p < 0.05$). Las comparaciones ES se representan en la *Figura 1c*.

Las correlaciones entre el puesto de juego backs se muestran en la *Tabla 2*, mientras que las relaciones en delanteros se informan en la *Tabla 3*.

Tabla 2. Relaciones entre las variables del perfil de fuerza-velocidad, fuerza, velocidad y rendimiento de salto en jugadores de rugby (Backs).

	<i>Sprint</i>				<i>Fuerza</i>		<i>Perfil Fuerza-velocidad</i>				
	<i>T30</i>	<i>T5</i>	<i>Vmax</i>	<i>SM</i>	<i>SQ/PC</i>	<i>IRM-SQ</i>	<i>F0</i>	<i>V0</i>	<i>Pmáx</i>	<i>Fvimb</i>	<i>CMJ</i>
<i>T5</i>	0.246										
<i>Vmax</i>	-0.760**	-0.224									
<i>SM</i>	0.117	-0.178	0.285								
<i>SQ/PC</i>	-0.421*	0.113	0.404*	-0.173							
<i>IRM-SQ</i>	-0.194	0.043	0.329	0.516**	0.719**						
<i>F0</i>	-0.188	-0.136	0.324	-0.052	0.407*	0.285					
<i>V0</i>	-0.062	0.155	0.167	-0.016	0.122	0.061	-0.347				
<i>Pmáx</i>	-0.234	0.184	0.512**	0.075	0.335	0.237	0.300	0.629**			
<i>Fvimb</i>	-0.039	-0.339	0.097	0.010	-0.021	0.044	0.616**	-0.888**	-0.444*		
<i>CMJ</i>	-0.332	0.134	0.571**	0.002	0.294	0.151	0.401*	0.257	0.685**	0.018	
<i>SJ</i>	-0.175	0.107	0.441*	0.020	0.450*	0.332	0.271	0.557**	0.800**	-0.373	0.756**

*Correlación significativa en $p < 0.01$. **Correlación significativa en $p < 0.05$. T5: tiempo de sprint de 5-m; T30: tiempo de sprint en 30-m; Vmax: velocidad máxima; SM: momento lineal; SQ/BM: ratio entre 1RM-SQ y Peso corporal; 1RM-SQ: 1RM estimada en el ejercicio Sentadilla; F0: fuerza máxima teórica, V0: velocidad máxima teórica, Pmáx: potencia máxima; Fvimb: desequilibrio del perfil Fv; CMJ: salto con contramovimiento; SJ: sentadilla con salto.

Table 3. Relaciones entre las variables del perfil de fuerza-velocidad, fuerza, velocidad y rendimiento de salto en jugadores de rugby (Delanteros).

	<i>Sprint</i>				<i>Fuerza</i>		<i>Perfil Fuerza-velocidad</i>				
	<i>T30</i>	<i>T5</i>	<i>Vmax</i>	<i>SM</i>	<i>SQ/PC</i>	<i>1RM-SQ</i>	<i>F0</i>	<i>V0</i>	<i>Pmáx</i>	<i>Fvimb</i>	<i>CMJ</i>
<i>T5</i>	0.836**										
<i>Vmax</i>	-0.901**	-0.647**									
<i>SM</i>	0.019	-0.306	0.029								
<i>SQ/PC</i>	-0.748**	-0.479*	0.656**	-0.209							
<i>1RM SQ</i>	-0.380	-0.444*	0.278	0.547**	0.628**						
<i>F0</i>	-0.386	-0.190	0.415*	-0.227	0.491*	0.144					
<i>V0</i>	-0.256	-0.195	0.168	0.077	0.337	0.310	-0.438*				
<i>Pmáx</i>	-0.434*	-0.299	0.398	-0.235	0.703**	0.456*	0.340	0.551**			
<i>Fvimb</i>	-0.153	-0.149	0.200	-0.056	0.004	-0.163	0.728**	-0.725**	-0.095		
<i>CMJ</i>	-0.673**	-0.539**	0.568**	-0.097	0.772**	0.512*	0.450*	0.341	0.805**	-0.029	
<i>SJ</i>	-0.566**	-0.434*	0.410*	-0.075	0.726**	0.544**	0.321	0.488*	0.855**	-0.184	0.925**

*Correlación significativa en $p < 0.01$. **Correlación significativa en $p < 0.05$. T5: tiempo de sprint de 5-m; T30: tiempo de sprint en 30-m; Vmax: velocidad máxima; SM: momento lineal; SQ/BM: ratio entre 1RM-SQ y Peso corporal; 1RM-SQ: 1RM estimada en el ejercicio Sentadilla; F0: fuerza máxima teórica, V0: velocidad máxima teórica, Pmáx: potencia máxima; Fvimb: desequilibrio del perfil Fv; CMJ: salto con contramovimiento; SJ: sentadilla con salto.

7.4 Discusión

Este es el primer estudio que analiza las diferencias entre posiciones de juego específicas en los parámetros del perfil Fv y el rendimiento de sprint, fuerza y salto en jugadores de rugby. Además, se examinaron las relaciones entre los diferentes parámetros físicos dentro de posiciones específicas de juego de rugby. En general, los backs y delanteros mostraron una capacidad física diferente, ya que los primeros demostraron un mejor rendimiento en sprint (T5, T30 y Vmax) que los delanteros, mientras que en los delanteros se observaron valores más altos de SM y fuerza absoluta en miembros superiores e inferiores (1RM-SQ y 1RM-BP). Con respecto al perfil Fv, los backs demostraron valores más altos en F0 que los delanteros, sin diferencias significativas en el resto de los parámetros de perfil Fv. Además, tampoco se observaron diferencias significativas entre las posiciones específicas entre backs (OB vs. IB), mientras que hemos observado más diferencias entre las posiciones específicas en delanteros (FR vs. BF). En ese sentido, BF demostró un mayor rendimiento en sprint, saltos e incluso mayores valores de Pmáx comparado con FR. Con respecto al análisis de correlación, el rendimiento del sprint se relacionó con la fuerza relativa, Pmáx y la capacidad de salto, independientemente de la posición de juego. Sin embargo, no se observaron correlaciones significativas entre Fvimb y el rendimiento de sprint, fuerza y salto. Por lo tanto, parece ser necesario realizar más investigaciones para examinar las posibles asociaciones entre Fvimb y los diferentes indicadores del rendimiento deportivo en jugadores de rugby.

En cuanto a las características antropométricas, de acuerdo con estudios previos en jugadores de rugby (Da Cruz-Ferreira & Ribeiro, 2013; Darrall-Jones et al., 2016; Fontana et al., 2015; Nakamura et al., 2016), los delanteros demostraron mayor PC y altura que los backs. Con respecto al rendimiento físico (*Tabla 1, Figura 1a*), los backs mostraron un mayor rendimiento en sprint (T5, T30 y Vmáx) que los delanteros ($p < 0.001-0.01$). Estos hallazgos indican que los backs lograron una mayor capacidad de aceleración y Vmáx que los delanteros. En línea con nuestros resultados, reciente se informó que los backs alcanzaron una velocidad de sprint más alta en 10 y 30-m respecto de los delanteros (Nakamura et al., 2017). Sin embargo, en el presente estudio, los delanteros lograron un SM mayor que los backs, destacando la importancia de altos valores de Vmáx junto con un PC elevado, tal como se ha demostrado en los delanteros de rugby de élite. Estos hallazgos sugieren demandas físicas altamente específicas entre las posiciones de juego, que pueden estar relacionadas con sus roles específicos en el campo. La mayor capacidad de aceleración y Vmáx en los backs es razonable, ya que participan en más acciones de juego abierto (Darrall-Jones et al., 2016), lo que requiere

cubrir distancias mayores a velocidades más altas (Quarrie et al., 2017). Sin embargo, un SM superior para los delanteros sería beneficioso para hacer frente a los contactos y tackles durante las competencias (Duthie et al., 2003). Con respecto a la fuerza máxima, los delanteros mostraron mayores valores de fuerza absoluta (1RM), tanto en SQ como en BP, respecto de los backs, pero cuando estos valores se normalizaron por la masa corporal, estas diferencias desaparecieron e incluso los backs demostraron una tendencia a alcanzar mayor BP/PC que los delanteros ($p = 0.069$). Estos resultados están en línea con investigaciones previas que analizaron las diferencias entre las posiciones de juego en jugadores de rugby (La Monica et al., 2016). Por lo tanto, poseer valores más altos de fuerza absoluta y un mayor PC serían favorables para los delanteros para dominar las situaciones de contacto (Duthie et al., 2003). Con respecto a la capacidad de salto en CMJ y SJ, nuestros resultados indican que tanto backs y delanteros alcanzaron un rendimiento similar. Estos resultados están en línea con otros estudios que han reportado una altura de salto vertical similar entre delanteros y backs (Da Cruz-Ferreira & Ribeiro, 2013; La Monica et al., 2016). Nuestros datos indican que el rendimiento del salto no parece ser un factor físico específico entre las posiciones de juego en rugby. De acuerdo con el perfil de Fv, no se observaron diferencias significativas entre las posiciones para ninguna variable, excepto para F0, donde los backs mostraron valores más altos que los delanteros. Además, ambas posiciones mostraron un Fvimb desplazado hacia los desequilibrios de fuerza. Estos resultados parecen sugerir la existencia de un perfil Fv específico para jugadores de rugby, con requisitos F0 más altos que V0, en lugar del perfil “óptimo” sugerido para maximizar el rendimiento del salto.

Con el fin de determinar los aspectos que distinguen entre posiciones específicas en los backs, se compararon OB vs. IB, sin encontrar diferencias significativas entre ellos en ninguna variable (*Tabla 1*). Sin embargo, el análisis de ES (*Figura 1b*) sugiere que IB tenía valores más altos de BM, 1RM-SQ, V0 y Pmáx (ES *probable*) en comparación con OB. Duthie et al. (2003) mencionó que los IB requieren una mayor fuerza, velocidad y potencia, ya que muestran una mayor frecuencia de contacto con el adversario, mientras que los OB requieren mayor velocidad para superar a sus oponentes. Nuestros hallazgos en parte apoyan esta idea, ya que se observaron diferencias *poco claras* para los tiempos de sprint, Vmáx y SM. Por otro lado, se observaron mayores diferencias entre las posiciones específicas en delanteros (*Tabla 1, Figura 1c*), ya que los jugadores BF fueron más livianos, altos, veloces y potentes (mayor Pmáx) que los FR, aunque éstos últimos demostraron un mayor SM. En este sentido, se ha mencionado que es un requisito previo para que BF esté constantemente involucrado en el juego abierto, que

jugadores en estas posiciones tengan una excelente velocidad, aceleración y capacidad de resistencia (Duthie et al., 2003). Por el contrario, los primeros líneas y hookers (i.e. FR) suelen participar en acciones relacionadas con mantener la posesión del balón, lo que requiere un contacto cercano con los oponentes y en consecuencia una oportunidad limitada para correr con el balón (Nicholas, 1997). Además, FR desempeña un papel fundamental en acciones fijas como scrums y line-outs, que requieren altos niveles de fuerza y potencia (Nicholas, 1997). En línea con nuestros hallazgos, Gabbett (2006) informó que, en jugadores de rugby league, el puesto FR demostró ser significativamente más pesados y tenía un mayor grosor de pliegues cutáneos respecto de todas las demás posiciones. A este respecto, se informó anteriormente que la masa de adiposa ($r = 0.75$) está fuertemente relacionada con el tiempo de sprint de 10-m y con la capacidad de sprint repetidos, enfatizando el efecto negativo del exceso de masa de adiposa en estas cualidades (Guiraudou et al., 2015).

En la *Tabla 4*, los backs revelaron *fuertes* correlaciones entre $V_{\text{máx}}$ y T30 ($r = -0.760$, $p < 0.01$), aunque curiosamente, T30 no se correlacionó con T5 ni con la capacidad de salto. Estos resultados difieren de los hallazgos que informaron una relación significativa entre el pico de potencia relativa y altura en CMJ y los tiempos de sprint en 10 y 20-m en jugadores de rugby (Turner et al., 2015). Sin embargo, en este estudio, los jugadores no se dividieron por puesto de juego, lo que puede explicar los resultados contradictorios. Hasta donde sabemos, este es el primer estudio en analizar correlaciones según la posición de juego específica. Un hallazgo interesante del presente estudio, ha sido que $V_{\text{máx}}$ se correlacionó significativamente con SQ/PC, $P_{\text{máx}}$ y la altura del salto, lo cual está en línea con estudios anteriores (Comfort et al., 2014; Cunningham et al., 2013). En consecuencia, debe destacarse la importancia del desarrollo de la fuerza y la potencia relativa, con el fin de mejorar el rendimiento de la velocidad en los backs. Con respecto al perfil Fv, Fvimb no se correlacionó con el rendimiento de sprint, fuerza o salto. Sin embargo, se hallaron correlaciones significativas entre F0 y CMJ ($r = 0.401$). Por lo tanto, nuestros hallazgos sugieren que F0, en lugar de Fvimb, parece estar relacionado con el rendimiento de salto, aunque ninguna variable de perfil Fv demostró estar correlacionado con el rendimiento de sprint y fuerza en SQ.

Con respecto a las correlaciones en delanteros (*Tabla 5*), y en contraposición con los backs, hemos observado correlaciones entre *moderadas* y *fuertes* para las variables T5, T30, $V_{\text{máx}}$, SQ/PC, SJ y CMJ. Estas relaciones más altas, en comparación con los backs, pueden explicarse por la mayor heterogeneidad entre la población de los delanteros, tal como hemos

demostrado en las diferencias entre puestos específicos (*Tabla 1*, FR vs BF). Al considerar los tiempos de sprints, según se reportó previamente (McFarland et al., 2016), hemos hallado una correlación *moderada* entre CMJ, SJ y T30. Estudios previos también han encontrado *fuertes* correlaciones entre las capacidades de salto y sprint (Loturco et al., 2015; Marcote-Pequeño et al., 2019). Resaltamos también, como hallazgo importante del presente estudio la correlación observada entre SQ/PC, el rendimiento del sprint (T5, T30 y V_{máx}), fuerza (1RM-SQ), las variables mecánicas del perfil Fv (F0, P_{máx}) y altura de salto (CMJ y SJ). Estos resultados parecen indicar que los jugadores de rugby más pesados deberían centrarse en mejorar la fuerza relativa en el ejercicio SQ, ya que podría influir positivamente en el rendimiento de sprint y en la capacidad de salto. Estos hallazgos resaltan la importancia de desarrollar altos niveles de fuerza en las extremidades inferiores, para mejorar el rendimiento del sprint y el salto, tal como se indicó recientemente en futbolistas jóvenes (Comfort et al., 2014). Del mismo modo, también con jugadores de fútbol algunos investigadores encontraron que la relación entre CMJ y sprints lineales se fortalece con distancias superiores a 20-m (Jalilvand et al., 2019), lo cual se diferencia de lo que se ha reportado con distancias menores a 20-m (Vescovi & McGuigan, 2008). En consecuencia, e independientemente de la posición de juego, los resultados respaldan hallazgos previos en jugadores de rugby, que sugieren que el SM y V_{máx} no necesariamente están vinculados (Darrall-Jones et al., 2016), sino que pueden estar moderadamente asociados a la producción de fuerza.

De acuerdo con las variables de perfil Fv, Fvimb no se correlacionó con el rendimiento de sprint, saltos o fuerza. Contrariamente, F0 demostró correlaciones *moderadas* con V0 ($r = -0.438, p < 0.05$), CMJ ($r = 0.450, p < 0.05$), SJ40 y SJ50 ($r = 0.532-0.551, p < 0.01$), mientras que V0 demostró correlaciones *moderadas* con P_{máx}, CMJ y SJ. Sin embargo, en P_{máx} hemos observado correlaciones *moderadas* a *fuertes* ($r = 0.805-0.855, p < 0.01$) con CMJ y SJ. Nuestros resultados son similares a los reportados en jugadores de fútbol, donde P_{máx} fue la variable mecánica que más se correlacionó con el rendimiento de sprint y salto (Marcote-Pequeño et al., 2019). En consecuencia, nuestros hallazgos indican que Fvimb no explica el rendimiento del sprint, fuerza y el salto, al menos en los jugadores de rugby.

7.5 Conclusiones

En conclusión, backs y delanteros presentan diferentes requisitos físicos, que pueden estar relacionados con las diferentes demandas durante la competencia de rugby. Además, se observaron pequeñas diferencias entre las posiciones específicas de los backs, mientras que las posiciones específicas de los delanteros mostraron mayores diferencias físicas. Adicionalmente, todas las posiciones de juego mostraron un Fvimb con un desequilibrio bajo de fuerza, lo cual parece demostrar que éste parece ser un perfil Fv específico para jugadores de rugby senior. Finalmente, se observaron relaciones significativas entre la fuerza relativa y el rendimiento de sprint y saltos tanto en delanteros como en backs.

7.6 Aplicaciones Prácticas

Los hallazgos actuales brindan información significativa para los entrenadores de rugby ya que podrían mejorar el proceso de diseño de los programas de entrenamiento e identificación de futuros talentos. Los backs fueron más rápidos que los delanteros, mientras que los delanteros mostraron valores más altos de SM y fuerza absoluta (1RM-SQ y 1RM-BP). Además, no se observaron diferencias claras entre las posiciones específicas de los backs, mientras que las posiciones específicas de los delanteros (FR vs. BF) mostraron diferencias más altas, ya que los jugadores de BF demostraron ser más veloces y potentes que FR. Los hallazgos actuales sugieren que poseer altos niveles de fuerza y potencia relativa pueden ser relevantes para alcanzar niveles más altos de rendimiento en sprints y saltos en backs y delanteros. Además, Fvimb no parece estar relacionado con el rendimiento físico, al menos en los jugadores de rugby. Con lo cual, estos hallazgos están en contraste con los resultados previos reportados en la literatura donde los autores mencionaron que se debe verificar el Fvimb del perfil Fv y que los entrenadores deben considerarlo para diseñar los programas de entrenamiento (Hervéou et al., 2018).

VIII. ARTÍCULO IV



8 Artículo IV: Efectos de un programa de entrenamiento individualizados basados en el perfil fuerza-velocidad sobre el rendimiento físico en jugadores de rugby

8.1 Introducción

Un jugador de rugby de élite debe ser competente en las diferentes fases del sprint, incluidas la aceleración inicial y velocidad máxima (Cross et al., 2015). Los jugadores de rugby deben realizar movimientos máximos y explosivos para situaciones de contacto y acciones de sprint (Roberts et al., 2008). En este sentido, debido a la naturaleza del juego moderno, el deporte requiere que los jugadores sean fuertes para tacklear con éxito, ágiles para evadir rápidamente la oposición, tener una alta resistencia cardiovascular para mantener el rendimiento durante más de 80 minutos y tener capacidades de producción de fuerza rápidas para acelerar y tacklear (Furlong et al., 2019).

Según la magnitud de la carga empleada en el entrenamiento de fuerza, Mora-Custodio, Rodríguez-Rosell, Pareja-Blanco, Yañez-García, & González-Badillo (2016) mostraron que los programas de entrenamiento con cargas bajas (40-60% 1RM) producen efectos similares o más beneficiosos sobre el rendimiento neuromuscular que las cargas moderadas (60-80% 1RM). Del mismo modo, Pareja-Blanco, Asián-Clemente, & Sáez de Villarreal (2019) indicaron que el entrenamiento en sentadillas con cargas bajas y moderadas combinadas con RST utilizando cargas ligeras puede ser un estímulo efectivo para mejorar la producción de fuerza, la capacidad de salto, el cambio de dirección (COD) y el rendimiento del sprint. En jugadores de rugby, la combinación de dos cargas mediante el método de entrenamiento complejo, prococaron adaptaciones positivas en todo el espectro de la curva fuerza-velocidad, al mismo tiempo que incrementaron el rendimiento en fuerza máxima y sprint (McMaster et al., 2014).

Samozino et al. (2012) propusieron un modelo biomecánico, conocido como perfil Fv de salto, basado en la medición de tres variables simples, que permite a los profesionales evaluar con precisión la producción de fuerza, velocidad y potencia en las extremidades inferiores durante un salto (SJ) en condiciones de campo. Además de ser un método simple y de bajo coste, la validación se ha reportado previamente (Janicijevic et al., 2019; Samozino et al., 2008). La comparación de un perfil de Fv “actual” con un perfil de Fv “óptimo” teórico podría ayudar a identificar qué componente (fuerza o velocidad) debe priorizarse durante el entrenamiento para mejorar el rendimiento del salto vertical (Giroux et al., 2016; Samozino et al., 2012). Para una $P_{\text{máx}}$ dada, existe un F_{vimb} que podría conducir a una pérdida del 30% en

el rendimiento del salto (Samozino et al., 2012). La pérdida de rendimiento, dependiendo del desequilibrio determinado, indicaría qué tan lejos (expresado en %) está un atleta de su perfil Fv “óptimo”. En términos prácticos, los programas de entrenamiento individualizados que tienen como objetivo mejorar el rendimiento de empuje vertical, deberían centrarse en aumentar $P_{\text{máx}}$ o en reducir F_{vimb} (Morin & Samozino, 2016). Morin & Samozino (2016) sugirieron que los atletas con un F_{vimb} significativo deben seguir un programa de RT individualizado que priorice el desarrollo de la variable mecánica en desequilibrio para optimizar el rendimiento del salto. Según un estudio reciente (Cross et al., 2015), tanto los entrenadores como los profesionales del deporte involucrados en el desarrollo de jugadores de rugby deberían considerar un perfil Fv de sprint de fuerza dominante para mejorar la capacidad de aceleración, particularmente en la fase inicial. Hansen, Cronin, Pickering, & Douglas (2011), mencionaron que, para mejorar la velocidad del sprint en jugadores de rugby, las estrategias de entrenamiento deben apuntar a optimizar la relación potencia-peso del deportista, y que el entrenamiento de fuerza en miembros inferiores debe centrarse en la velocidad de ejecución del movimiento.

Según lo expuesto anteriormente, sólo dos estudios (Jiménez-Reyes et al., 2017, 2019) han examinado los efectos de un programa de RT y saltos individualizado según el F_{vimb} . Estos estudios (Jiménez-Reyes et al., 2017, 2019) concluyeron que los programas de entrenamiento individualizados basados en el F_{vimb} mejoran el rendimiento del salto en jugadores de fútbol y rugby. Sin embargo, estos autores no examinaron los efectos de estos protocolos sobre la fuerza de miembros inferiores (por ej., 1RM en sentadillas) ni la velocidad de sprint. Contrariamente, con respecto al perfil Fv de sprint se ha mencionado que un entrenamiento de sprint individualizado basado en el F_{vimb} no fue más efectivo para mejorar el rendimiento del sprint que un programa generalizado de entrenamiento (Rakovic et al., 2018).

Luego de revisada la literatura científica, entendemos que ninguna investigación ha analizado los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza y saltos basado en F_{vimb} sobre el rendimiento en la producción fuerza, la capacidad de salto y velocidad de sprint. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue probar experimentalmente los efectos sobre la fuerza en miembros inferiores, el salto y el rendimiento del sprint después de seguir un programa de RT individualizado basado en F_{vimb} . Adicionalmente, hemos planteado como hipótesis que, si se reduce el F_{vimb} , se incrementaría la altura del salto vertical provocando un impacto positivo en la fuerza en miembros inferiores y la velocidad de sprint.

8.2 Material y Método

8.2.1 Participantes

Treinta y cuatro ($n = 34$) jugadores de rugby masculinos altamente entrenados se ofrecieron como voluntarios para participar en este estudio. Los participantes compiten en las principales competiciones de clubes y tienen un mínimo de diez años de experiencia como jugadores de rugby. Los participantes estaban familiarizados con las pruebas realizadas, y normalmente participan en ~5 sesiones de entrenamiento por semana (2 sesiones de fuerza y velocidad, y 2-3 sesiones de rugby) y una competencia semanal. Los participantes fueron reclutados sobre la base de que estaban libres de cualquier lesión o restricción de entrenamiento, según lo verificado por el fisioterapeuta del club y tenían un mínimo de 2 años de experiencia en entrenamiento estructurado bajo la supervisión de un entrenador calificado de fuerza y acondicionamiento físico. Todos los atletas descansaron el día antes de las pruebas y se les pidió que asistieran a las pruebas en un estado alimentado e hidratado, similar a sus prácticas normales antes del entrenamiento. El estudio cumplió con los estándares éticos y fue aprobado por un Comité de Ética de Investigación Institucional y se ajustó a las recomendaciones de la Declaración de Helsinki. Después de ser informados sobre el propósito y los procedimientos experimentales, los participantes firmaron un formulario de consentimiento informado por escrito antes de la participación.

8.2.2 Diseño y Procedimientos

El presente estudio utilizó un seguimiento longitudinal con diseño experimental Pre-Post con sesiones de evaluaciones físicas. La intervención se realizó durante la temporada, a mediados del período competitivo. Los participantes fueron asignados a los grupos de acuerdo con su Fvimb individual (%) obtenido de las pruebas previas al período de intervención y luego aleatoriamente ubicados en una de las cuatro condiciones de entrenamiento. Tres grupos llevaron a cabo un programa de fuerza, pliométrico y sprint individualizado y específico según su Fvimb: i) desequilibrio de velocidad (Vimb, $n = 6$), que tenía un Fvimb superior al 110%; ii) desequilibrio de fuerza (Fimb, $n = 11$), que tuvo un Fvimb inferior al 90%; y iii) bien equilibrado (WB, $n = 9$), que tuvo una Fvimb entre 90 y 110%. El cuarto grupo realizó una intervención no individualizada (NI, $n = 8$), que consistió en realizar el mismo programa de entrenamiento que el grupo WB, pero su Fvimb no fue tomado en consideración. El proceso de asignación al azar fue realizado por un co-autor que no participó directamente en las pruebas o entrenamientos programados. Las características antropométricas de los participantes y los valores de corte de Fvimb se presentan en la *tabla 1*.

Las cargas de entrenamiento de fuerza y pliométrico utilizadas en el presente estudio (*tabla 2*) fueron adaptadas y modificadas según un estudio previo (Jiménez-Reyes et al., 2017). El programa de entrenamiento se realizó durante un período de 7 semanas con una frecuencia de dos sesiones por semana. Los participantes debían completar 14 de las 14 sesiones de entrenamiento de intervención (100%) y todas las pruebas de pre- y post-entrenamiento para poder ser incluidos. El programa de RT fue diferente con respecto a las cargas de RT (% 1RM) y pliométrico (% PC) pero idéntico en volumen y ejercicios entre todos los grupos. El entrenamiento de sprint fue idéntico para todos los grupos. La intervención de entrenamiento consistió en un bloque de sprints en la primera parte de la sesión seguido de dos ejercicios de fuerza para miembros inferiores y ejercicios pliométricos, cuya duración total no excedió los 40-min. Estas sesiones de entrenamiento se llevaron a cabo antes del entrenamiento de rugby específico para que, de esta manera, la fatiga no afectara el rendimiento. La calificación de la sesión mediante la escala de esfuerzo percibido (RPE) se registró durante todo el período de intervención para todas las sesiones de rugby según se ha reportado previamente (Foster et al., 2001). Las sesiones de rugby específicas duraron ~60-min en total con una RPE de entre 6-8 para todas las sesiones y jugadores. Las características semanales del programa de entrenamiento de cada grupo se presentan en la *tabla 3*.

Tabla 1. Características principales y valores de corte para cada uno de los grupos de intervención según el Fvimb.

Grupo	Fvimb (%)	Masa Corporal (kg)	Altura (cm)	Edad
Vimb (n = 6)	> 110%	84.05 ± 11.65	174.33 ± 6.83	21.50 ± 3.53
Fimb (n = 11)	< 90 %	89.38 ± 11.07	177.64 ± 5.26	23.73 ± 3.32
WB (n = 9)	90-110%	93.46 ± 15.65	177.89 ± 7.36	22.00 ± 3.77
NI (n = 7)	1-199%	84.37 ± 15.59	179.43 ± 9.22	21.43 ± 2.51

*Vimb: grupo con desequilibrio de velocidad; Fimb: grupo con desequilibrio de fuerza; WB: grupo bien equilibrado; NI: no individualizados. Fvimb: desequilibrio del perfil fuerza-velocidad.

Tabla 2. Cargas y ejercicios seleccionados para el programa de entrenamiento individualizado.

Grupo	Fuerza-Cargas	Saltos-Cargas	Sprint
Vimb (n = 6)	Bajas 40-60% 1RM	SJ (40-60 % PC)	Sin carga
	Ejercicio: Sentadilla	PC Horizontal and vertical	
Fimb (n = 11)	Altas 75-85% 1RM	SJ (75-85 % PC)	Sin carga
	Ejercicio: Sentadilla	PC Horizontal and vertical	
WB (n = 9)	Moderadas 60-75% 1RM	SJ (60-75 % PC)	Sin carga
	Ejercicio: Sentadilla	PC Horizontal and vertical	
NI (n = 7)	Moderadas 60-75% 1RM	SJ (60-75 % PC)	Sin carga
	Ejercicio: Sentadilla	PC Horizontal and vertical	

*Vimb: grupo con desequilibrio de velocidad; Fimb: grupo con desequilibrio de fuerza; WB: grupo bien equilibrado; NI: no individualizados. **1RM: repetición máxima; SJ: sentadilla con salto; PC: peso corporal.

Tabla 3. Características del programa de entrenamiento individualizado durante el período de intervención.

		SEMANA 1		SEMANA 2		SEMANA 3		SEMANA 4		SEMANA 5		SEMANA 6		SEMANA 7	
		Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3	Sesión 4	Sesión 5	Sesión 6	Sesión 7	Sesión 8	Sesión 9	Sesión 10	Sesión 11	Sesión 12	Sesión 13	Sesión 14
Vimb	% 1RM	40%	40%	50%	50%	55%	55%	60%	60%	40%	40%	50%	50%	55%	55%
Fimb	% 1RM	75%	75%	75%	75%	80%	80%	85%	85%	75%	75%	85%	85%	80%	80%
WB	% 1RM	60%	60%	65%	65%	70%	70%	75%	75%	60%	60%	65%	65%	60%	60%
NI	% 1RM	60%	60%	65%	65%	70%	70%	75%	75%	60%	60%	65%	65%	60%	60%
	Sprints RxD	3x20m; 6x10m	3x20m; 6x10m	2x20m; 2x30m	CMJ 4x5	3x10m; 5x5m	3x20m; 3x10m	2x20m; 2x10m; 2x30m	CMJ; 4x5	3x20m; 3x10m	2x20m; 4x10m	3x20m; 3x30m	VP; 4x5	3x20m; 3x10m	3x10m; 3x20m
	SQ SxR	3x6	3x6	3x5	3x4	3x3	4x4	3x2	3x4	3x5	3x5	2x3	2x3	3x3	3x3
	Salto SxR	SJ; 3x6	HJ; 3x6	SJ; 3x5	HJ; 3x4	SJ; 3x3	VP; 4x4	CMJ; 3x4	HJ; 3x4	VP; 3x5	HJ; 3x5	SJ; 2x3	HJ; 2x3	Val; 3x3	HJ1P; 3x3

*Vimb: grupo con desequilibrio de velocidad; Fimb: grupo con desequilibrio de fuerza; WB: grupo bien equilibrado; NI: no individualizados. **1RM: repetición máxima; PC: peso corporal. % 1 RM: porcentaje de 1RM; RxD: repetición x distancia; SxR: series x repeticiones; *** SQ: Sentadilla; SJ: sentadilla con salto; CMJ: salto con contra-movimiento; V: vallas de pliometría; HJ: saltos horizontales; HJ1P: saltos horizontales a 1 pierna. ¥ Recuperación entre series de 2 min para ejercicios de fuerza y saltos. ¥¥ Recuperación entre series para sprints entre 2-3 min.

8.2.3 Tests

Las pruebas de perfil Fv y CMJ se realizaron el primer día. Después de 48 horas de descanso, se realizó una prueba de cargas progresivas en el ejercicio de sentadilla para estimar 1RM-SQ. Finalmente, en el tercer día, también asegurando 48 horas de descanso, se realizó una prueba de velocidad de sprint sobre 30-m. Se informó a los participantes que debían abstenerse de entrenar el día antes de las pruebas. Las pruebas pre- y post- intervención se realizaron en las mismas instalaciones deportivas de un club de rugby. Todos los participantes completaron las pruebas en el mismo orden y a la misma hora del día.

8.2.4 Pruebas de salto y del perfil de fuerza-velocidad

La altura del salto en SJ y CMJ se evaluó utilizando una plataforma de salto portátil (Chronojump Boscosystem, Barcelona, España) tal como se ha realizado anteriormente (Jiménez-Reyes et al., 2017; Samozino et al., 2008). Dado que las posiciones de despegue y aterrizaje pueden afectar la altura del salto, se les indicó a los participantes que mantuvieran los pies extendidos durante todo el salto hasta el aterrizaje. El calentamiento consistió en 10-min de ejercicios de activación y movilización no fatigantes, que incluyeron estocadas y sentadillas de peso corporal y finalmente 2 series de 4 repeticiones de CMJ. Para obtener el Fvimb individual, cada sujeto realizó un SJ vertical máximo sin carga y posteriormente contra cuatro cargas adicionales (20, 30, 40 y 50 kg) en orden aleatorio. Con respecto al perfil Fv, los parámetros mecánicos se calcularon para todas las condiciones de carga usando el método propuesto por Samozino et al. (2008). La descripción detallada del protocolo y los procedimientos de prueba utilizados en este estudio han sido informados previamente (Marcote-Pequeño et al., 2019). Brevemente, la prueba consiste en realizar saltos SJ, comenzando desde un ángulo de 90° en la articulación de la rodilla, sin ningún realizar contramovimiento. La prueba se realizó con las manos en las caderas para el SJ sin carga y una barra para las demás condiciones de carga (García-Ramos et al., 2017), y se les pidió a los participantes que mantuvieran su posición de inicio (ángulo de rodilla de 90°) durante aproximadamente 2 segundos para luego realizar un salto máximo. El contramovimiento se prohibió verbalmente y se verificó cuidadosamente (Jiménez-Reyes et al., 2017). Se realizaron dos repeticiones válidas con cada condición con 2-min de recuperación entre repeticiones y de entre 4 y 5-min entre las condiciones. Los saltos SJ para cada condición se nombraron de la siguiente manera: SJ (0 kg), SJ20 (20 kg), SJ30 (30 kg), SJ40 (40 kg), SJ50 (50 kg). El coeficiente de correlación intraclase (ICC) y el coeficiente de variación (CV) de pre-intervención para todos los saltos fue: > 0.95 y

< 4.9% respectivamente. Luego, el ICC y CV post-intervención fue: > 0.97 y < 4.2% respectivamente. El coeficiente r^2 para las pruebas pre- y post- intervención fue > 0.94.

8.2.5 Test de carga progresivas en Sentadilla

La prueba de fuerza consistió en una estimación de 1RM-SQ, utilizando un transductor de lineal de posición (Chronojump Boscosystem, Barcelona, España) (Vivancos et al., 2014). La evaluación de la fuerza comenzó después de un protocolo de calentamiento específico utilizado previamente (Franco-Márquez et al., 2015). La sentadilla se realizó utilizando un rack de sentadillas y una barra olímpica, y verificó el desplazamiento vertical de la barra en todo momento. Los participantes realizaron la sentadilla desde una posición vertical, descendiendo a una velocidad controlada ($0.50\text{--}0.70\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) hasta que la parte superior de los muslos estaba por debajo del plano horizontal, y luego invirtió el movimiento inmediatamente y se ascendió a la posición vertical a la máxima velocidad de ejecución posible. A los participantes no se les permitió saltar o despegar la barra de los hombros. La carga inicial se estableció en 40 kg para todos los participantes y se incrementó gradualmente en 5-10 kg. Cuando los participantes alcanzaron una velocidad media propulsiva (MPV) cercana a $\sim 0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ la prueba se dio por concluida. Sólo la mejor repetición con cada carga, de acuerdo con los criterios de la mayor MPV, se consideró para el análisis posterior. El tiempo de recuperación entre series fue de 3-min. La MPV de esta prueba se utilizó para estimar 1RM-SQ, que se calculó a partir de MPV alcanzada con la carga más pesada (kg), utilizando la siguiente ecuación: $\text{Carga (\% 1RM)} = -5.961 \text{ MPV}^2 - 50.71 \text{ MPV} + 117.0$ (Sánchez-Medina et al., 2017).

8.2.6 Test de velocidad de sprint

Los participantes realizaron tres sprints de 30-m en un campo de rugby de césped natural y en condiciones climáticas secas. En las pruebas pre- y post- intervención, la velocidad del viento fue inferior a $2\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ medido con un anemómetro digital (Perfect-Prime, WD0081, Holanda). La prueba comenzó en posición de pie, con de 2 puntos de apoyo y 0.5-m detrás de la primera fotocélula, para evitar cualquier activación anticipada del sistema de cronometraje. Las células fotoeléctricas (Chronojump Boscosystem, Barcelona, España) se colocaron al principio y a 5, 10, 20 y 30-m (1-m sobre el nivel del suelo). Se alentó a los participantes a correr los 30-m lo más rápido posible. El mejor tiempo sobre 30-m se consideró para el análisis posterior. El tiempo de recuperación entre series fue de 4-min. Los tiempos se registraron en las distancias 0-5 m (T5), 0-10 m (T10), 0-20 m (T20) y 0-30 m (T30), y en los siguientes tramos fraccionados: 10-20 m (T10-20) y 20-30 m (T20-30). La velocidad máxima de sprint (VMS) se calculó dividiendo la distancia (10-m) por el mejor tiempo del intervalo (s) y posteriormente,

SM ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) se calculó multiplicando el PC de cada participante por su VMS ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) obtenida en el sprint de 30-m (Jalilvand et al., 2019). La fiabilidad de las medidas fue la siguiente: Pre-intervención, ICC y CV: T5: 0,84 y 2,4%; T10: 0,94 y 1,3%; T20: 0,97 y 1,0%; T30: 0,98 y 0,9%. Post- intervención, T5: 0,84 y 2,4%; T10: 0,91 y 1,9%; T20: 0,97 y 1,0%; T30: 0,98 y 0,7%. Todos los participantes completaron un calentamiento estandarizado de 20-min previo al inicio de las pruebas físicas (Rakovic et al., 2018).

8.2.7 Análisis Estadístico

Se utilizaron métodos estadísticos estándar para el cálculo de medias, desviaciones estándar (DE). La prueba de Shapiro-Wilk se utilizó para analizar si los valores se distribuían normalmente. Los datos se analizaron usando un ANOVA factorial 4×2 con comparaciones post-hoc de Bonferroni usando un factor entre grupos (Vimb vs. Fimb vs. WB vs. NI) y un factor intra-grupo (Pre- vs. Post- intervención). Además, estas diferencias se analizaron más a fondo en función del tamaño del efecto "d" (ES) de Cohen (con un intervalo de confianza del 95%). El nivel de significación se estableció en $p \leq 0.05$. Los análisis estadísticos se realizaron con el software SPSS versión 20.0 (SPSS Inc., Chicago, IL).

8.3 Resultados

Rendimiento de sprint. No se observaron interacciones significativas "grupo" x "tiempo" para ninguna variable de rendimiento de sprint (*tabla 4*). Se encontraron efectos significativos de "tiempo" ($p < 0.05$) en todas las variables examinadas (T5, T10, T20, T30, VMS y SM). El grupo WB demostró mejoras significativas en T10, T20, T30, MSS y SM, mientras que Fimb logró mejoras significativas en el rendimiento de T20 y T30 (*tabla 4*). Además, el grupo Vimb demostró mejoras con tendencia a alcanzar el nivel de significación ($p = 0.08$) en el rendimiento de T10 y T20. El grupo NI logró mejoras significativas ($p < 0.05$) en SM. Los valores de ES se reportan conjuntamente en la *tabla 4*.

Rendimiento de fuerza y saltos. No se observaron interacciones significativas "grupo" x "tiempo" para el rendimiento de sentadillas y saltos. Se encontraron efectos significativos de "tiempo" ($p < 0.05$) para 1RM-SQ, mientras que no se observaron efectos de "tiempo" para la altura de salto en CMJ ni SJ. Aunque no se observaron mejoras significativas dentro de los grupos para 1RM-SQ, el grupo Fimb logró mejoras con tendencia a alcanzar el nivel de significación ($p = 0.07$) en 1RM-SQ. El grupo NI mostró una disminución significativa ($p < 0.05$) en el rendimiento de SJ.

Rendimiento del perfil Fv de salto. Se observaron interacciones significativas "grupo" x "tiempo" ($p < 0.05$) para V0, F0 y Fvimb (*tabla 5*). Dado que los grupos se dividieron de acuerdo con su Fvimb, se observaron diferencias significativas entre los grupos de intervención ($p < 0.001$) en V0, F0 y Fvimb en los pre-tests. Sin embargo, estas diferencias desaparecieron Post-test. El grupo Vimb significativamente ($p < 0.05$) aumentó V0, mientras que disminuyó F0 y Fvimb. El grupo Fimb demostró reducciones significativas ($p < 0.05$) en V0, mientras que aumentó F0 y Fvimb. Los grupos WB y NI no mostraron ningún cambio significativo en estos parámetros. Los valores de ES se presentan en conjunto en la *tabla 5*.

Tabla 4. Cambios en el rendimiento de fuerza y velocidad pre- y post- período de entrenamiento.

GRUPO	VARIABLE	Pre	Post	P-valor	ES	IC 95%
Vimb (n=6)	<i>T5 (s)</i>	0.90 ± 0.04	0.88 ± 0.05	0.55	-0.24	(-0.90; 1.37)
	<i>T10 (s)</i>	1.66 ± 0.06	1.62 ± 0.05	0.08	-0.61	(-0.56; 1.76)
	<i>T20 (s)</i>	2.96 ± 0.10	2.92 ± 0.08	0.08	-0.45	(-0.70; 1.59)
	<i>T30 (s)</i>	4.16 ± 0.16	4.12 ± 0.14	0.15	-0.28	(-0.86; 1.40)
	<i>VMS (m·s⁻¹)</i>	8.31 ± 0.45	8.31 ± 0.43	1.00	0.00	(-1.13; 1.13)
	<i>SM (kg·m·s⁻¹)</i>	682.00 ± 109.23	684.00 ± 103.42	0.81	0.02	(-1.14; 1.11)
	<i>IRM-SQ (kg)</i>	129.15 ± 23.26	136.01 ± 12.21	0.11	0.36	(-1.5; 0.78)
Fimb (n=11)	<i>T5 (s)</i>	0.93 ± 0.03	0.92 ± 0.04	0.37	-0.30	(-0.54; 1.13)
	<i>T10 (s)</i>	1.70 ± 0.06	1.68 ± 0.06	0.28	-0.25	(-0.59; 1.08)
	<i>T20 (s)</i>	3.04 ± 0.11	3.00 ± 0.10	0.05	-0.31	(-0.52; 1.15)
	<i>T30 (s)</i>	4.28 ± 0.17	4.23 ± 0.16	0.03	-0.29	(-0.55; 1.12)
	<i>VMS (m·s⁻¹)</i>	8.04 ± 0.36	8.11 ± 0.40	0.18	0.18	(-1.02; 0.65)
	<i>SM (kg·m·s⁻¹)</i>	715.50 ± 63.15	725.61 ± 69.25	0.11	0.15	(-0.98; 0.68)
	<i>IRM-SQ (kg)</i>	139.67 ± 19.15	145.48 ± 15.66	0.07	0.33	(-1.16; 0.51)
WB (n=9)	<i>T5 (s)</i>	0.91 ± 0.06	0.89 ± 0.04	0.10	-0.48	(-0.46; 1.41)
	<i>T10 (s)</i>	1.67 ± 0.09	1.62 ± 0.06	0.002	-0.66	(-0.30; 1.60)
	<i>T20 (s)</i>	2.97 ± 0.16	2.91 ± 0.11	0.007	-0.38	(-0.55; 1.31)
	<i>T30 (s)</i>	4.23 ± 0.19	4.17 ± 0.14	0.02	-0.34	(-0.58; 1.27)
	<i>VMS (m·s⁻¹)</i>	8.15 ± 0.34	8.28 ± 0.35	0.04	0.35	(-1.28; 0.57)
	<i>SM (kg·m·s⁻¹)</i>	759.54 ± 120.03	775.24 ± 124.51	0.03	0.12	(-1.05; 0.79)
	<i>IRM-SQ (kg)</i>	152.54 ± 20.04	155.35 ± 19.66	0.41	0.14	(-1.06; 0.78)
NI (n=8)	<i>T5 (s)</i>	0.91 ± 0.04	0.89 ± 0.06	0.33	-0.28	(-0.70; 1.26)
	<i>T10 (s)</i>	1.68 ± 0.07	1.69 ± 0.08	0.69	0.09	(-1.13; 0.95)
	<i>T20 (s)</i>	3.03 ± 0.14	3.02 ± 0.15	0.84	-0.02	(-1.01; 1.07)
	<i>T30 (s)</i>	4.21 ± 0.24	4.18 ± 0.26	0.20	-0.12	(-0.85; 1.10)
	<i>VMS (m·s⁻¹)</i>	8.12 ± 0.52	8.23 ± 0.61	0.10	0.18	(-1.16; 0.79)
	<i>SM (kg·m·s⁻¹)</i>	681.54 ± 99.20	698.09 ± 91.41	0.03	0.17	(-1.15; 0.81)
	<i>IRM-SQ (kg)</i>	124.15 ± 23.34	129.52 ± 19.15 ^{WB}	0.15	0.25	(-1.23; 0.73)

Grupos: *Vimb: grupo con desequilibrio de velocidad; Fimb: grupo con desequilibrio de fuerza; WB: grupo bien equilibrado; NI: no individualizados. ES: tamaño del efecto intra-grupo; IC 95%: intervalo de confianza al 95%; T5: tiempo de sprint en 5m; T10: tiempo de sprint en 10m; T20: tiempo de sprint en 20m; T30: tiempo de sprint en 30m; VMS: velocidad máxima de sprint; SM: momento lineal; IRM-SQ: 1RM estimada en Sentadilla. Diferencias significativas entre grupos: ^{Vimb}indica diferencias significativas con el grupo Vimb; ^{Fimb}indica diferencias significativas con el grupo Fimb; ^{WB}indica diferencias significativas con el grupo WB. Efectos de “tiempo” (p-valor): T5: 0.05; T10: 0.007; T20: 0.002; T30: 0.001; VMS: 0.002; SM: 0.004; IRM-SQ: 0.007. © Interacciones “grupo” x “tiempo” (p-valor): T5: 0.91; T10: 0.08; T20: 0.38; T30: 0.88; VMS: 0.58; SM: 0.53; IRM-SQ: 0.88.

Tabla 5. Cambios en las variables mecánicas del perfil fuerza velocidad y saltos pre- and post- período de entrenamiento.

GROUP	VARIABLE	Pre	Post	P-valor	ES	95% CI
Vimb (n=6)	<i>V0 (m·s⁻¹)</i>	2.14 ± 0.21	2.57 ± 0.36	0.04	1.43	(-2.68; -0.11)
	<i>F0 (N·kg⁻¹)</i>	46.45 ± 7.46	40.07 ± 5.86	0.002	-0.95	(-0.27; 2.13)
	<i>Pmáx (W·kg⁻¹)</i>	24.75 ± 3.25	25.73 ± 5.15	0.31	0.23	(-1.35; 0.91)
	<i>Fvimb (%)</i>	133.50 ± 28.32	95.17 ± 17.27	0.001	-1.63	(0.27; 2.93)
	<i>CMJ (cm)</i>	34.92 ± 4.80	34.43 ± 4.98	0.62	-0.10	(-1.03; 1.23)
	<i>SJ (cm)</i>	29.61 ± 2.50	31.15 ± 4.86	0.15	0.40	(-1.53; 0.75)
Fimb (n=11)	<i>V0 (m·s⁻¹)</i>	3.04 ± 0.44 ^{Vimb}	2.59 ± 0.28	0.005	-1.20	(0.28; 2.11)
	<i>F0 (N·kg⁻¹)</i>	32.28 ± 3.48 ^{Vimb}	35.80 ± 3.52	0.02	1.00	(-1.88; -0.10)
	<i>Pmax (W·kg⁻¹)</i>	24.46 ± 3.79	23.13 ± 3.15	0.07	-0.38	(-0.46; 1.22)
	<i>Fvimb (%)</i>	68.82 ± 8.52 ^{Vimb}	87.55 ± 12.99	0.02	1.70	(-2.67; -0.70)
	<i>CMJ (cm)</i>	32.70 ± 4.25	33.26 ± 4.06	0.44	0.13	(-0.97; 0.70)
	<i>SJ (cm)</i>	29.47 ± 4.66	28.96 ± 3.44	0.50	-0.12	(-0.71; 0.96)
WB (n=9)	<i>V0 (m·s⁻¹)</i>	2.63 ± 0.26 ^{Vimb, Fimb}	2.49 ± 0.32	0.41	-0.46	(-0.47; 1.39)
	<i>F0 (N·kg⁻¹)</i>	37.04 ± 2.63 ^{Vimb}	38.33 ± 4.75	0.474	0.33	(-1.26; 0.60)
	<i>Pmax (W·kg⁻¹)</i>	24.37 ± 3.03	23.62 ± 2.45	0.34	-0.27	(-0.65; 1.19)
	<i>Fvimb (%)</i>	77.33 ± 6.04 ^{Vimb, Fimb}	99.44 ± 23.39	0.81	0.26	(-1.21; 0.69)
	<i>CMJ (cm)</i>	35.78 ± 6.40	34.99 ± 5.27	0.34	-0.13	(-0.79; 1.05)
	<i>SJ (cm)</i>	30.60 ± 4.88	29.69 ± 3.84	0.29	-0.20	(-0.72; 1.13)
NI (n=8)	<i>V0 (m·s⁻¹)</i>	2.68 ± 0.21 ^{Vimb}	2.72 ± 0.52	0.82	0.09	(-1.07; 0.88)
	<i>F0 (N·kg⁻¹)</i>	33.74 ± 3.82 ^{Vimb}	33.55 ± 4.72	0.919	-0.04	(-0.93; 1.02)
	<i>Pmax (W·kg⁻¹)</i>	22.65 ± 3.29	22.57 ± 3.49	0.92	-0.02	(-0.95; 1.00)
	<i>Fvimb (%)</i>	81.38 ± 14.76 ^{Vimb}	81.38 ± 20.01	1.00	0.00	(-0.97; 0.97)
	<i>CMJ (cm)</i>	34.24 ± 5.33	32.26 ± 5.02	0.03	-0.38	(-0.63; 1.36)
	<i>SJ (cm)</i>	28.68 ± 4.36	28.61 ± 4.34	0.34	-0.01	(-0.96; 0.99)

Grupos: *Vimb: grupo con desequilibrio de velocidad; Fimb: grupo con desequilibrio de fuerza; WB: grupo bien equilibrado; NI: no individualizados. **ES: tamaño del efecto intra-grupo; IC 95%: intervalo de confianza al 95%. ***V0: velocidad máxima teórica; F0: fuerza máxima teórica; Pmáx: potencia máxima; Fvimb: desequilibrio del perfil fuerza-velocidad. ¥ CMJ: salto con contra-movimiento; SJ: sentadilla con salto. ¥¥ Diferencias significativas entre grupos: ^{Vimb}indica diferencias significativas con el grupo Vimb; ^{Fimb}indica diferencias significativas con el grupo Fimb. Efectos de “tiempo” (p-valor): V0: 0.72; F0: 0.60; Pmáx: 0.48; Fvimb: 0.33; CMJ: 0.12; SJ: 0.98. ©Interacciones “grupo” x “tiempo” (p-valor): V0: 0.01; F0: 0.003; Pmax: 0.26; Fvimb: 0.002; CMJ: 0.18; SJ: 0.32.

8.4 Discusión

El objetivo del presente estudio fue examinar experimentalmente los efectos sobre la fuerza de miembros inferiores, el salto y el rendimiento del sprint después de seguir un programa de RT individualizado basado en Fvimb. Los resultados del presente estudio mostraron que el programa de RT individualizado basado en Fvimb provocó mejoras en el rendimiento del sprint, mientras que los deportistas de NI mostraron mejoras sólo en SM. Los programas de RT individualizados basados en Fvimb indujeron mejores ajustes del perfil de Fv acercando el “actual” al perfil de Fv “óptimo” teórico, aunque ninguno de los grupos mejoró la fuerza en 1RM-SQ, la altura de salto ni tampoco se observaron modificaciones en Pmáx.

En rugby, la velocidad de sprint, la masa corporal y SM discriminan entre jugadores de diferentes niveles (Jones et al., 2018). En ese sentido, los atletas de WB mejoraron no sólo los tiempos de sprint en todos los intervalos, sino también su VMS y SM. Además, los otros grupos “individualizados” (Vimb y Fimb) también alcanzaron mejoras en el rendimiento del sprint. Young et al. (2008) mencionaron que los sprints que inician desde una posición estática en una distancia relativamente corta, como 10-m, son un reflejo de la capacidad de aceleración y, por lo tanto, se podría pensar también que éstos grupos hayan mejorado su SM inicial. Baker & Newton (2008) sugirieron que los jugadores de rugby deberían centrarse en aumentar la fuerza y la potencia junto con la hipertrofia muscular, mejorando de esta manera el SM, ya que sería beneficioso para hacer frente a los contactos y a las demandas de la competencia (Duthie et al., 2003).

Del mismo modo, y a pesar de los cambios sustanciales encontrados en Fvimb en todos los grupos individualizados, no se observaron mejoras en la capacidad de salto o Pmáx después del programa de intervención en jugadores de rugby. Estos hallazgos no respaldan los hallazgos previos de Jiménez-Reyes et al. (2017), quienes informaron que la reducción de Fvimb sin siquiera aumentar Pmáx conduce a cambios de rendimiento en la capacidad de salto que son claramente beneficiosos. Nuestros hallazgos no respaldan esta sugerencia, ya que ninguno de los grupos de intervención aumentó el rendimiento de salto a pesar de obtener un perfil Fv más “óptimo”. Independientemente de esta falta de acuerdo en los resultados, Fvimb podría considerarse como una variable potencialmente útil para prescribir cargas óptimas de RT para mejorar el sprint y la fuerza de las extremidades inferiores. Es posible sugerir que la falta de efectividad en la capacidad de salto en todos los grupos podría deberse, en parte, a la presencia de fatiga neuromuscular que se acumula durante toda la temporada, como se informó recientemente con atletas de alto nivel (Talpey et al., 2019). Además, otra posible explicación

podría ser que los jugadores de rugby que participaron en el presente estudio posiblemente necesitaron más semanas para mostrar efectos positivos sobre la capacidad de salto y la Pmáx.

Con respecto a RT, se ha demostrado que niveles más altos de fuerza están asociados con mejoras en las características de fuerza-velocidad, habilidades deportivas generales y específicas (Suchomel et al., 2016). Los resultados de nuestro estudio confirman que cuando los desequilibrios no se abordan individualmente, como para los atletas de NI, el programa de entrenamiento no es efectivo para reducir Fvimb o mejorar la capacidad de salto. En línea con los hallazgos de Jiménez-Reyes et al. (2017) los atletas que participan en programas de entrenamiento basados en su Fvimb obtendrán mejores resultados (al menos no disminuyeron el rendimiento de salto) que aquellos que participaron en el entrenamiento tradicional. Es probable, por lo tanto, que un programa de RT individualizado basado en Fvimb mejore la fuerza y el rendimiento del sprint en miembros inferiores, aunque planteamos la incógnita respecto a que no se hayan alcanzado mejoras en la capacidad de salto en ningún grupo del presente estudio. Luego, respecto de las diferencias entre estudios, resaltamos que Jiménez-Reyes et al. (2017), sólo analizaron los cambios en la capacidad de salto. Además, aunque no se observaron mejoras significativas dentro de los grupos para 1RM-SQ, el grupo Fimb fue el único que logró ganancias con tendencia a la significación ($p = 0.07$) en 1RM-SQ. En este sentido, pareciera que llevar a cabo un programa de RT individualizado basado en Fvimb indujo aumentos en la fuerza de 1RM-SQ. Sin embargo, debe reconocerse que las mejoras en la fuerza máxima a través de RT no son respuestas inesperadas. Estudios anteriores han demostrado claramente la efectividad del entrenamiento de fuerza con el objetivo de aumentar específicamente la fuerza máxima (Cormie et al., 2007, 2010; Rønnestad et al., 2012; Vikmoen et al., 2017).

Los resultados en las variables mecánicas del perfil Fv (*tabla 5*) mostraron cambios positivos en el área de la curva que se priorizó durante el período de entrenamiento y, a su vez, esto provocó una reducción en el área opuesta. Estos hallazgos coinciden con estudios recientes (Jiménez-Reyes et al., 2017, 2019), quienes informaron que cuando el entrenamiento se centró en aumentar V0, se observó una disminución paralela en F0, y viceversa. Por lo tanto, se debe tener precaución cuando sólo se prioriza un extremo del espectro Fv con el objetivo de alcanzar el perfil "óptimo", ya que puede inducir disminuciones en el extremo opuesto, siendo ésta una explicación plausible de la falta de adaptaciones positivas en la fuerza de sentadillas y rendimiento de salto. Por lo tanto, la interpretación del perfil de Fv debe considerarse teniendo

en cuenta los cambios en F0 y V0, ya que una disminución en ambas variables podría dar como resultado un Fvimb más ajustado, pero podría provocar una disminución del rendimiento atlético. Los resultados en los jugadores de Vimb son consistentes con los hallazgos anteriores en jugadores de fútbol juveniles, en los que después de un programa de RT con bajas cargas y bajo volumen combinado con saltos y sprints, se alcanzaron mejoras importantes en el rendimiento (Franco-Márquez et al., 2015). Con respecto al uso de cargas pesadas en programas de RT, un estudio informó mejoras en el rendimiento muscular en la parte superior de la curva de fuerza-velocidad (Cormie et al., 2011). En los atletas de Fimb, los resultados mostraron mejoras con tendencia a la significación ($p = 0.07$) en 1RM-SQ, lo que está en línea con los aumentos en F0.

El objetivo de un programa de RT con diferentes cargas es apuntar a todas las áreas de la curva fuerza-velocidad como un intento de aumentar las adaptaciones en todo el espectro (Cormie et al., 2011). Aunque no se encontraron cambios en la altura de salto y 1RM-SQ, los jugadores de WB mejoraron el rendimiento de sprint en los intervalos de T10 a T30. Por lo tanto, estos hallazgos sugieren que las estrategias que combinan cargas bajas y altas podrían ser útiles para el desarrollo de la velocidad de sprint en jugadores de rugby con un perfil Fv bien equilibrado. Un hallazgo interesante del estudio actual fue el hecho que WB tuvo cambios significativos en algunas variables, mientras que los atletas de NI no mostraron modificaciones, a pesar de que se llevó a cabo un régimen de entrenamiento idéntico. En consecuencia, es posible que puedan producirse mejoras más significativas en el rendimiento deportivo después de un programa de RT individualizado cuando se tiene en cuenta el Fvimb individual. Sin embargo, esta hipótesis debe investigarse más a fondo. Los hallazgos actuales se limitan a la población específica analizada, por lo tanto, se debe tener precaución, ya que cuando se aplica el entrenamiento a atletas de deportes de equipo de alto nivel, los efectos de los programas de RT en la fuerza y la potencia parecen seguir la ley de rendimientos decrecientes, mientras aumenta la experiencia de entrenamiento, se reducen las tasas de adaptación (McMaster, Gill, Cronin, & McGuigan, 2013).

Invitamos a investigadores para abordar algunas limitaciones de este estudio y analizar:

- a) el efecto de la prescripción de carga individualizada utilizando Fvimb individual, sin modificaciones en el enfoque utilizado por Jiménez-Reyes (Jiménez-Reyes et al., 2017, 2019);
- b) el efecto de los programas de entrenamiento con más sesiones de entrenamiento y semanas, ya que sólo se realizaron 14 sesiones de entrenamiento durante 7 semanas en este estudio.

Además, se necesitaría un tamaño de muestra mayor, ya que el reclutamiento condujo a un grupo Vimb de sólo 6 participantes, mientras que los grupos Fimb, WB y NI incluyeron 11, 9 y 8 participantes, respectivamente.

8.5 Conclusiones

En conclusión, este estudio presenta datos de los efectos sobre las características físicas clave de los jugadores de rugby al abordar los desequilibrios del perfil de fuerza-velocidad. La individualización de un programa de entrenamiento basado en Fvimb podría ser un método efectivo para mejorar el rendimiento de sprint y la fuerza. La reducción de los desequilibrios reales entre la fuerza y la velocidad puede tener un impacto positivo en otras acciones máximas, como la capacidad de aceleración, la velocidad y la fuerza. Sin embargo, no se observaron cambios positivos en la capacidad de salto para ninguno de los grupos de intervención.

8.6 Aplicaciones Prácticas

En términos prácticos, consideramos que la evaluación del jugador de rugby debería tener en cuenta Fvimb para individualizar las cargas de entrenamiento de acuerdo con las necesidades de cada atleta, con el objetivo de identificar en qué área de la curva fuerza-velocidad un atleta necesita priorizar su RT. Sin embargo, consideramos basándonos en nuestros resultados, que debemos programar el entrenamiento pensando en toda la curva (aunque se prioriza una zona) para evitar disminuciones en la zona no entrenada. Por lo tanto, los entrenadores de fuerza y acondicionamiento físico también deben evaluar la fuerza de 1RM (para determinar exactamente las cargas relativas y absolutas que se utilizarán) y la velocidad de sprint. La combinación de estas evaluaciones junto con programas de entrenamiento bien diseñados puede conducir a mejoras en la fuerza absoluta de los miembros inferiores y el rendimiento del sprint, que son cualidades clave en los jugadores de rugby.

IX. ARTÍCULO V



9 Artículo V: Cambios en las activaciones musculares, stiffness y variables cinemáticas durante el entrenamiento de sprint sin carga y con trineos de arrastre con diferentes condiciones de carga

9.1 Introducción

El rugby es un deporte intermitente caracterizado por múltiples acciones de alta intensidad, intercaladas por acciones de baja intensidad y por la participación de los jugadores en acciones físicamente exigentes, como tackles, rucks y mauls con el objetivo de obtener la posesión de la pelota (Chiwariidzo et al., 2016). Los puestos de juego en rugby generalmente se clasifican como delanteros y backs, donde los delanteros participan en *scrums* y *line-outs* y los backs participan en más acciones de juego abierto (Darrall-Jones et al., 2016). Con respecto al rendimiento deportivo, los backs generalmente cubren distancias mayores a velocidades más altas que los delanteros (Quarrie et al., 2017). En este sentido, Yamamoto et al. (2020) informaron que los backs cubrieron una distancia mayor a alta velocidad (715.0 ± 242.9 vs. 317.4 ± 136.9 m, respectivamente) y realizaron un mayor número de aceleraciones (100.8 ± 19.6 vs. 76.3 ± 18.9 aceleraciones, respectivamente) que los delanteros durante competencias de rugby de élite. Por lo tanto, el rendimiento del sprint es una variable de particular interés para el profesional de fuerza y acondicionamiento físico que trabaja con jugadores de rugby debido a la gran frecuencia de acciones de alta velocidad en el juego moderno (Furlong et al., 2019). Además, un atleta de rugby exitoso debe ser competente en las diferentes fases de la carrera de velocidad, incluidas las fases de aceleración inicial y velocidad máxima para competir en el nivel de élite (Cross et al., 2015). Con esto en mente, ha habido un creciente interés en el estudio de los métodos de entrenamiento orientados a mejorar el rendimiento de sprint, en particular, el entrenamiento resistido.

Respecto de RST, diferentes autores parecen estar de acuerdo en que el uso de una carga adecuada es un requisito importante para producir adaptaciones positivas (Alcaraz et al., 2008; Behrens & Simonson, 2011). Entonces, si el objetivo es desarrollar la parte de alta de la curva fuerza-velocidad, se deben usar cargas ligeras (Alcaraz et al., 2018). Contrariamente, el entrenamiento de aceleración con sprints resistido utilizando trineos con cargas muy pesadas claramente obliga a los atletas a correr a velocidad más bajas, y como consecuencia, tendrán más tiempo para aplicar más fuerza con una posición del tronco orientada hacia adelante durante el sprint, lo que parece ser más recomendado para mejorar la aceleración inicial (Morin et al., 2017). En ese sentido, Kawamori et al. (2014) observaron efectos positivos en la capacidad de

aceleración (es decir, tiempos de sprint sobre 5 y 10-m) después de 8 semanas de entrenamiento utilizando el método RST con una carga del 43% PC.

Desde una perspectiva cinemática, los entrenadores generalmente recomiendan el uso de cargas relativamente ligeras, ya que las cargas excesivamente pesadas podrían afectar la mecánica de carrera (Kawamori et al., 2014). De acuerdo con Alcaraz et al. (2008), RST con trineos de arrastre puede reducir la longitud y frecuencia de zancada, aumentar el tiempo de contacto con el suelo y la inclinación hacia adelante del tronco, y producir algunos cambios en la configuración de las extremidades inferiores del atleta durante la fase de contacto con el suelo. Como tal, se ha sugerido que una carga que reduce la velocidad del atleta en más del 10% de la velocidad de sprint sin carga añadida podría provocar cambios sustanciales en la mecánica de carrera (Alcaraz et al., 2008). Otro aspecto importante a tener en cuenta es que el entrenamiento RST conduce a respuestas de fatiga aguda más altas (Van Den Tillaar et al., 2018) y cambios en los ángulos de las articulaciones durante la carrera (Cronin et al., 2008). Por lo tanto, la sobrecarga experimentada por los grupos musculares involucrados en el sprint podría ser diferente y, en consecuencia, afectar la mecánica y el rendimiento del sprint. Independientemente de ello, debe tenerse en cuenta que, a pesar de los cambios agudos mencionados, las adaptaciones a largo plazo a la carga de trineo muy pesada aún deben investigarse con mayor profundidad (Morin et al., 2017).

Para aclarar los problemas mencionados anteriormente, el uso de la electromiografía (EMG) puede ser útil para proporcionar información adicional sobre la actividad muscular y examinar los cambios en la velocidad o fatiga de la contracción muscular (Howard et al., 2018) durante RST bajo diferentes condiciones de carga. En cuanto a las diferencias entre los sprints cortos y de velocidad máxima, se ha informado que la activación muscular puede ser diferente dependiendo de la fase del sprint (Young et al., 2001). Particularmente, se ha informado que los extensores de rodilla (i.e. cuádriceps) son relativamente más importantes para los sprints de aceleración y los extensores de cadera (es decir, glúteos e isquiotibiales) relativamente más importantes para las fases de mayor velocidad (Young et al., 2001). Estos hallazgos de Young et al. (2001) difieren de resultados más recientes reportados en la literatura. De hecho, durante la fase de aceleración, la demanda de activación del músculo bíceps femoral de cabeza larga (BFlh) en la posición inicial es alta porque se requiere un mayor momento de extensión de la cadera (Higashihara et al., 2018). En contraste, durante la fase $V_{\text{máx}}$, el semitendinoso muestra una alta activación al final de la fase de contacto y una activación intermedia durante la fase de

recuperación, cuando la rodilla se extiende y se requiere un mayor momento de flexión de la rodilla (Higashihara et al., 2018).

Durante un sprint máximo, se ha propuesto que K_{leg} es de una importancia sustancial (Clark & Weyand, 2014), ya que el desarrollo de la velocidad máxima durante el sprint se acompaña de una mayor longitud del paso acompañados de un incremento en K_{leg} (Nagahara & Zushi, 2017). Adicionalmente, una mayor rigidez en miembros inferiores generará una mayor fuerza de reacción vertical al suelo, facilitando el almacenamiento y el retorno de la energía elástica, aumentando así la frecuencia de paso y reduciendo el tiempo de contacto con el suelo (Clark & Weyand, 2014; Douglas et al., 2020; Kuitunen et al., 2002). Por lo tanto, para comprender con mayor precisión los cambios en el patrón motor del sprint durante RST, se necesitan más investigaciones sobre los cambios en la actividad EMG de los principales grupos musculares involucrados en el sprint, así como sobre los posibles cambios en K_{leg} y variables cinemáticas a través de diferentes condiciones de carga en el entrenamiento RST. Además, a pesar del uso cada vez mayor del método RST, hay una escasez de estudios que examinen la actividad de los músculos de las extremidades inferiores en diferentes condiciones de carga del trineo. El objetivo principal del presente estudio fue analizar y comparar los efectos del sprint sin resistencia y RST utilizando diferentes condiciones de carga (0%, 10%, 30% y 50% V_{loss}) sobre la actividad muscular, K_{leg} y variables cinemáticas en sprints sobre 30-m en jugadores de rugby amateur. Planteamos como hipótesis que las cargas de trineo más pesadas provocarían mayores alteraciones en la actividad muscular, K_{leg} y la técnica de sprint (evaluada por análisis cinemático).

9.2 Material y Método

9.2.1 Participantes

Doce jugadores de rugby amateur ($n = 12$), masculinos, sanos y físicamente activos fueron reclutados (edad: 23.5 ± 5.1 años; altura: 1.79 ± 0.04 m; masa corporal: 82.5 ± 13.1 kg). Los criterios de inclusión fueron: i) jugadores de rugby sanos y entrenados; ii) sin lesiones ni afecciones médicas en los últimos 6 meses; y iii) al menos un año de experiencia en RST. Los sujetos fueron plenamente informados de los requisitos de la investigación y firmaron un consentimiento informado antes de participar. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de Investigación Institucional (Murcia, España) y se llevó a cabo de conformidad con la Declaración de Helsinki.

9.2.2 Diseño y Procedimientos

Se realizó un estudio transversal aleatorizado y descriptivo. Las evaluaciones se realizaron en dos días no consecutivos, con 72 horas de descanso para evitar posibles interferencias causadas por la fatiga. El primer día, se realizaron pruebas de sprint de 30-m, bajo diferentes condiciones de carga aplicadas (es decir, 0%, 20%, 40%, 60% y 80% PC) de manera aleatoria, para obtener una ecuación de regresión lineal individual que indique la carga requerida para alcanzar cada condición de Vloss planificada (Cross et al., 2018). El segundo día, los participantes se dividieron en grupos de tres atletas (1 atleta a la vez, ~ 1 hora por atleta) para estudiar los efectos sobre la activación muscular, K_{leg} y cinemática. La prueba de sprint consistió en sprints de 30-m usando diferentes condiciones de carga (0%, 10%, 30% y 50% de Vloss respecto de la V_{max} alcanzada en el sprint sin carga). Ambos días de evaluación se realizaron en el mismo campo de rugby de césped natural al aire libre. Todos los sujetos realizaron un calentamiento estandarizado específico antes de la prueba. El calentamiento consistió de estiramientos dinámicos y ejercicios específicos de sprint y concluyó con 3–5 repeticiones de sprints submáximos progresivos sobre 30-m. El sprint sin resistencia se realizó primero (para evitar un posible efecto de potenciación en los siguientes ensayos) y, luego, las condiciones de carga en orden aleatorio.

9.2.3 Test de Sprint para el cálculo de la ecuación de regresión individual

Se realizaron dos sprints de 30-m para cada condición de carga (0%, 20%, 40%, 60% y 80% PC) con ~4-min de descanso entre repeticiones. Los sujetos comenzaron la prueba en una posición de dos apoyos, con el pie de preferencia levemente adelantado respecto del otro. Se utilizó una pistola radar para medir la velocidad instantánea de cada sprint (Stalker ATS II, Applied Concepts, Richardson, TX, USA) con una frecuencia de muestreo de 47 Hz. El radar se colocó 5-m detrás de la línea de partida usando un trípode a 1-m de altura. El mejor tiempo del sprint con cada condición se usó para el análisis posterior. Se usó un dispositivo de remolque de trineo (Power systems, Power sled, peso: 13.4 kg) fijado al atleta con un cinturón cerca del centro de masa (CoM) y se usó una correa de 3.5-m de largo fijada al trineo.

9.2.4 Test de Sprint para la activación muscular y variables cinemáticas

Los sujetos realizaron dos sprints de 10-m y dos de 30-m para cada condición (0%, 10%, 30% y 50% Vloss) con ~ 4-min de recuperación entre repeticiones. Los sujetos comenzaron la prueba en una posición de dos apoyos, con el pie de preferencia levemente adelantado respecto del otro, detrás de una línea a 1-m de la primera fotocélula. Las células fotoeléctricas (Microgate,

Bolzano, Italia) se utilizaron para medir el tiempo de cada sprint, y se colocaron usando un trípode a una altura de 1-m en el inicio y a 5, 10, 20, 25 y 30-m. Los tiempos se registraron dentro de las siguientes distancias: 5-m (T5), 10-m (T10), 20-m (T20), 25-m (T25) y 30-m (T30). El coeficiente de correlación intraclase (ICC) y el coeficiente de variación (CV) para la fiabilidad relativa y absoluta para la condición sin carga fueron: T5: > 0.84 y $< 5.3\%$; T10: > 0.93 y $< 1.8\%$; T20: > 0.97 y $< 1.0\%$; T25: 0.98 y 0.8% ; y T30: > 0.98 y $< 1.0\%$.

9.2.5 Análisis Electromiográfico (EMG) del sprint

La señal EMG se obtuvo de cuatro músculos: BFlh, gastrocnemio (GAS), glúteo medio (GM) y recto femoral (RF) para cada sprint utilizando el software MR Noraxon v3.4 (Noraxon USA Inc. Scottsdale, Arizona). Para evaluar la actividad muscular, se colocaron electrodos EMG de superficie estándar con una separación de 2-cm, a lo largo del eje longitudinal de los músculos de la pierna derecha, según los puntos de referencia anatómicos y siguiendo las pautas de SENIAM para la colocación del sensor (<http://www.seniam.org>). Para identificar mejor el posicionamiento de los electrodos en la superficie, un investigador experimentado realizó la palpación de cada abdomen muscular durante las contracciones isométricas. El área de cada sitio de electrodos se afeitó usando una maquinilla de afeitar desechable y se limpió con algodón empapado en alcohol. Una vez que se colocaron los electrodos, se registró un período de ruido y, posteriormente, se les pidió a los sujetos que realizaran un sprint máximo sin carga, que se utilizó para normalizar la activación muscular en las pruebas posteriores de RST. La actividad pico de EMG (microvoltios $-uV-$) del segundo paso de las fases de aceleración (0-5 m) y $V_{m\acute{a}x}$ (20-25 m) se registró y analizó para cada condición de carga. Con respecto a la medición EMG, la actividad muscular en las fases de aceleración y $V_{m\acute{a}x}$ se obtuvo a través de un sólo paso, para cada fase y repetición. Antes del tratamiento de los datos, se aplicó a la señal grabada un filtrado digital personalizado (filtro de paso de banda; 20-500 Hz), rectificación y suavizado (algoritmo de raíz cuadrada media, 100 ms). La actividad máxima de EMG de cada músculo durante toda la fase de contacto con el suelo, desde la toma de contacto hasta el despegue fue la variable considerada en el análisis (cabe destacar que se descartaron los picos en los datos de EMG asociados al registro de "ruido"). Se analizaron los valores máximos en lugar de los valores promedio, ya que el tiempo de contacto con cada carga de trineo era diferente, por lo tanto, estaríamos analizando diferentes ventanas de tiempo en cada condición. ICC y CV para todos los datos EMG fueron: > 0.96 y $< 5.8\%$, respectivamente.

9.2.6 Análisis cinemático del sprint

Las variables cinemáticas se determinaron a partir de los fotogramas de video identificados como apoyo (primer fotograma, el pie visiblemente en contacto con el suelo) y despegue (primer fotograma en el que el pie había dejado visiblemente el suelo) con un zoom de 6 x mediante el software Kinovea (v.0.8.15, disponible en <http://www.kinovea.org>). Para este propósito, se utilizaron dos cámaras de video de cámara lenta con una frecuencia de muestreo de 240 Hz (iPhone 7, Apple Inc., Cupertino, CA, USA). Las cámaras se fijaron en un trípode, a 1-m de altura sobre el nivel del suelo, se colocaron a 10-m de distancia, adyacentes al área de prueba y se colocaron en el plano sagital para analizar las fases de aceleración (0-5 m) y $V_{\text{máx}}$ (20-25 m). El material de archivo se calibró utilizando una pica (1.2-m de largo) que se ubicaba vertical y horizontalmente en el centro del campo de visión de la cámara de alta velocidad y en el centro del carril en el plano sagital antes de cada prueba para garantizar precisión en el análisis posterior. Las siguientes variables cinemáticas y temporales se utilizaron en el presente estudio: i) Tiempo de contacto (CT) (ms): tiempo desde el momento del aterrizaje hasta el despegue (ICC: > 0.97 , CV: $< 1.6\%$); ii) Tiempo de vuelo (FT) (ms): tiempo desde el despegue hasta el touchdown consecutivo (ICC: > 0.99 , CV: $< 4.6\%$); iii) Longitud de zancada (SL) (cm): distancia entre dos contactos consecutivos, desde el ante pie hasta el ante pie (ICC: > 0.97 , CV: $< 1.2\%$); iv) Frecuencia de zancada (SF) ($\text{pasos} \cdot \text{s}^{-1}$): número de contactos con el suelo por segundo (ICC: > 0.95 , CV: $< 3.9\%$); v) Ángulo del tronco (TA°): se definió como el ángulo subtendido desde el hombro y la cadera hasta el eje vertical, donde los valores más pequeños indican una mayor extensión del tronco (CCI: > 0.96 , CV: $< 5.8\%$); vi) K_{leg} ($\text{kN} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$) se calculó utilizando el método de onda sinusoidal que se ha reportado previamente como un método de validez aceptable (Morin et al., 2005). La longitud del miembro inferior se midió desde el trocánter mayor hasta la punta de los pies en posición decúbito dorsal. La fiabilidad para K_{leg} fue: ICC > 0.95 y CV $< 4.6\%$. Todas las variables cinemáticas se calcularon en el momento de la toma de contacto del pie con el suelo, en el segundo contacto de cada pie y para cada fase del sprint, en todas las condiciones de carga. Cada video fue analizado dos veces por el mismo observador para determinar la confiabilidad intra-observador. Los datos fueron exportados a una hoja de cálculos para análisis y cálculos posteriores.

9.2.7 Análisis Estadístico

Los datos se presentan como media \pm DE. Se utilizó el software SPSS (versión 24.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) para calcular la media y la DE, ICC (modelo de efectos aleatorios unidireccionales) y CV para todas las variables medidas. Adicionalmente, las diferencias entre

todas las variables dependientes medidas se calcularon utilizando un análisis de varianza de medida repetida unidireccional (ANOVA) y el Bonferroni post-hoc. También se calcularon los valores del tamaño del efecto ‘d de Cohen’ (ES) con un intervalo de confianza del 90% (Hopkins et al., 2009). Los valores de umbral para las estadísticas de ES de Cohen fueron: > 0.2 pequeño, > 0.6 moderado, > 1.2 grande, > 2.0 muy grande y > 4.0 casi perfecto (Hopkins et al., 2009). Se utilizó un nivel alfa de $p < 0.05$ como criterio de significación.

9.3 Resultados

Las comparaciones de activación muscular para las fases de aceleración y V_{máx} con las diferentes condiciones de carga se presentan en la *Tabla 1* y *Figura 1*. La actividad de BFlh disminuyó significativamente y la actividad de RF aumentó con el incremento de carga durante la fase de aceleración. Estas diferencias fueron más pronunciadas en la fase de V_{máx}. Por el contrario, la actividad de GM y GAS se mantuvo sin cambios entre las diferentes condiciones de carga.

Los tiempos de sprint, TA° y el K_{leg} para las fases de aceleración y V_{max} se presentan en la *Tabla 2* y *Figura 2*. Los tiempos de sprint y el TA° aumentaron a medida que aumentaron las cargas del trineo. Se observaron reducciones significativas en K_{leg} con las cargas de trineo más altas en la fase de aceleración, excepto entre 0% y 10% V_{loss} ($p < 0.001-0.05$). Por el contrario, en la fase V_{max}, solo la condición de V_{loss} al 50% resultó en reducciones significativas en K_{leg} en comparación con las condiciones restantes.

La *Tabla 3* y *Figura 3* muestran los cambios en las condiciones de carga para CT, FT, SL y SF para las fases de aceleración y V_{max}. CT aumentó significativamente y FT y SL disminuyeron a medida que aumentaron las cargas de trineo. No se observaron diferencias significativas para SF a través de las condiciones de carga en ninguna fase de sprint examinada.

Tabla 1. Diferencias en los niveles de activación muscular durante la fase de aceleración (0-5 m) y máxima velocidad (20-25 m).

Grupo Muscular	Comparación	Fase de Aceleración			Fase de máxima velocidad		
		%Δ ± IC (90%)	ES ± IC (90%)	P	%Δ ± IC (90%)	ES ± IC (90%)	P
Gastrocnemio	0% vs 10%	-9.9 ± 50.6	-0.18 ± 0.79	0.669	10.5 ± 39.6	0.19 ± 0.62	0.587
	0% vs 30%	-7.5 ± 56.1	-0.14 ± 0.86	0.757	20.8 ± 47.8	0.35 ± 0.73	0.391
	0% vs 50%	-16.6 ± 25.5	-0.35 ± 0.44	0.173	10.7 ± 22.9	0.19 ± 0.38	0.385
	10% vs 30%	-7.8 ± 12.5	-0.16 ± 0.23	0.222	6.3 ± 28.7	0.11 ± 0.47	0.656
	10% vs 50%	-25.1 ± 33.3	-0.64 ± 0.64	0.099	-6.1 ± 43.5	-0.15 ± 0.85	0.753
	30% vs 50%	-19.9 ± 44.5	-0.49 ± 0.82	0.279	-13.9 ± 55.7	-0.35 ± 1.04	0.542
Bíceps Femoral (cabeza larga)	0% vs 10%	-21.9 ± 42.4	-0.67 ± 0.95	0.229	-6.0 ± 13.9	-0.22 ± 0.46	0.392
	0% vs 30%	-28.8 ± 29.3	-0.91 ± 0.69	0.039*	-17.5 ± 14.8	-0.67 ± 0.48	0.032*
	0% vs 50%	-24.6 ± 36.5	-0.76 ± 0.84	0.129	-30.1 ± 28.0	-1.26 ± 0.86	0.027*
	10% vs 30%	-7.2 ± 20.3	-0.20 ± 0.50	0.473	-17.5 ± 12.6	-0.67 ± 0.42	0.020*
	10% vs 50%	2.9 ± 54.6	0.04 ± 0.65	0.905	-34.6 ± 16.6	-1.22 ± 0.44	0.002**
	30% vs 50%	6.1 ± 54.7	0.09 ± 0.65	0.804	-14.3 ± 13.7	-0.44 ± 0.37	0.056
Glúteo Medio	0% vs 10%	22.1 ± 19.9	0.62 ± 0.57	0.076	1.1 ± 30.9	0.01 ± 0.34	0.940
	0% vs 30%	37.7 ± 46.5	1.00 ± 1.19	0.156	-7.2 ± 57.5	-0.10 ± 0.58	0.766
	0% vs 50%	18.0 ± 101.7	0.52 ± 2.20	0.654	-2.3 ± 70.9	-0.03 ± 0.68	0.930
	10% vs 30%	10.7 ± 40.9	0.32 ± 1.07	0.596	-9.3 ± 63.6	-0.11 ± 0.63	0.737
	10% vs 50%	-8.9 ± 101.2	-0.15 ± 1.16	0.800	-8.2 ± 148.8	-0.16 ± 1.75	0.851
	30% vs 50%	-19.1 ± 54.9	-0.35 ± 0.72	0.375	-24.7 ± 110.3	-0.55 ± 1.43	0.476
Recto Femoral	0% vs 10%	1.1 ± 14.5	0.03 ± 0.30	0.881	7.5 ± 20.1	0.24 ± 0.60	0.485
	0% vs 30%	26.5 ± 24.3	0.52 ± 0.48	0.079	40.7 ± 18.2	1.12 ± 0.55	0.005**
	0% vs 50%	41.0 ± 19.7	0.77 ± 0.40	0.006**	56.6 ± 25.7	1.47 ± 0.75	0.009**
	10% vs 30%	25.1 ± 24.6	0.50 ± 0.49	0.095	31.8 ± 15.4	0.91 ± 0.47	0.006**
	10% vs 50%	39.4 ± 17.9	0.71 ± 0.35	0.004**	48.1 ± 29.8	0.81 ± 0.54	0.025*
	30% vs 50%	11.5 ± 21.2	0.23 ± 0.41	0.331	9.5 ± 19.5	0.19 ± 0.37	0.365

% Vloss: pérdida de velocidad respecto del sprint sin carga; %Δ ± CI (90%): % de cambio (Cohens ES) ± intervalo de confianza 90%. ES ± CI (90%): Tamaño del efecto de Cohen ± intervalo de confianza 90% P: p-valor.

*: P < 0.05. ** P < 0.01.

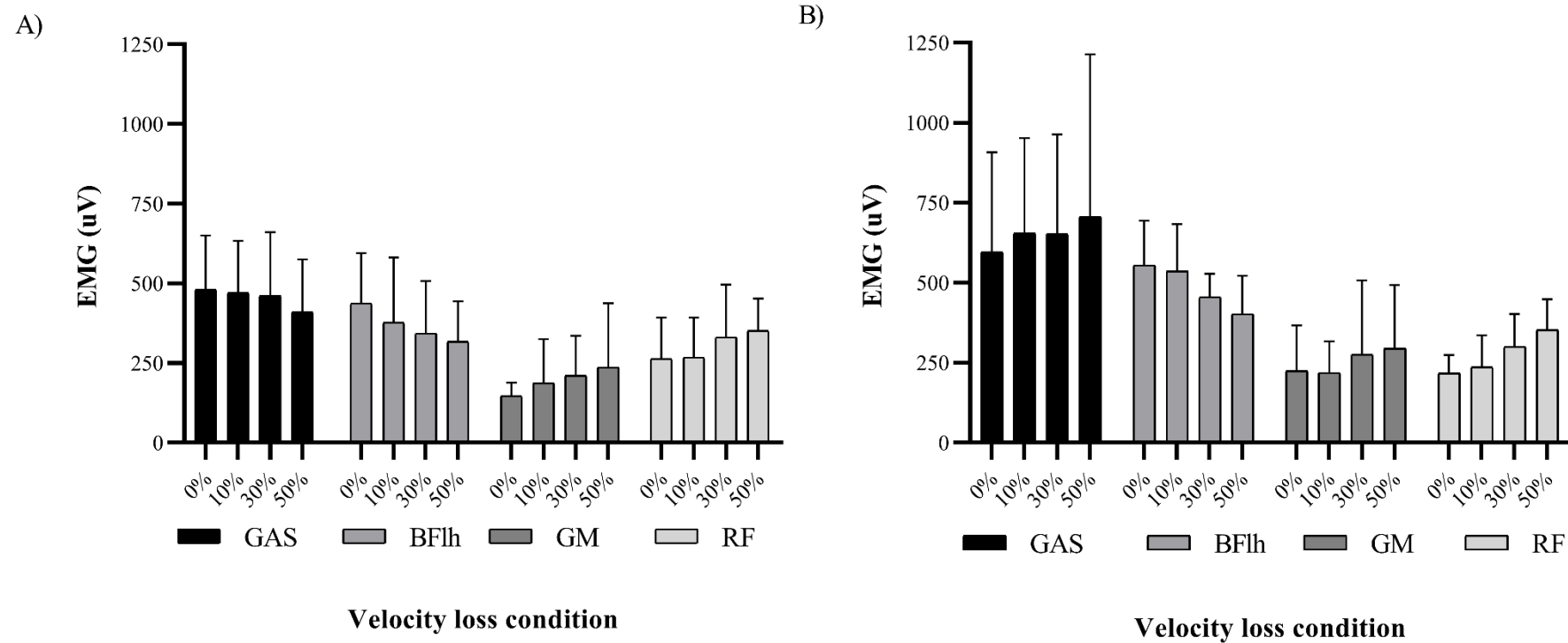


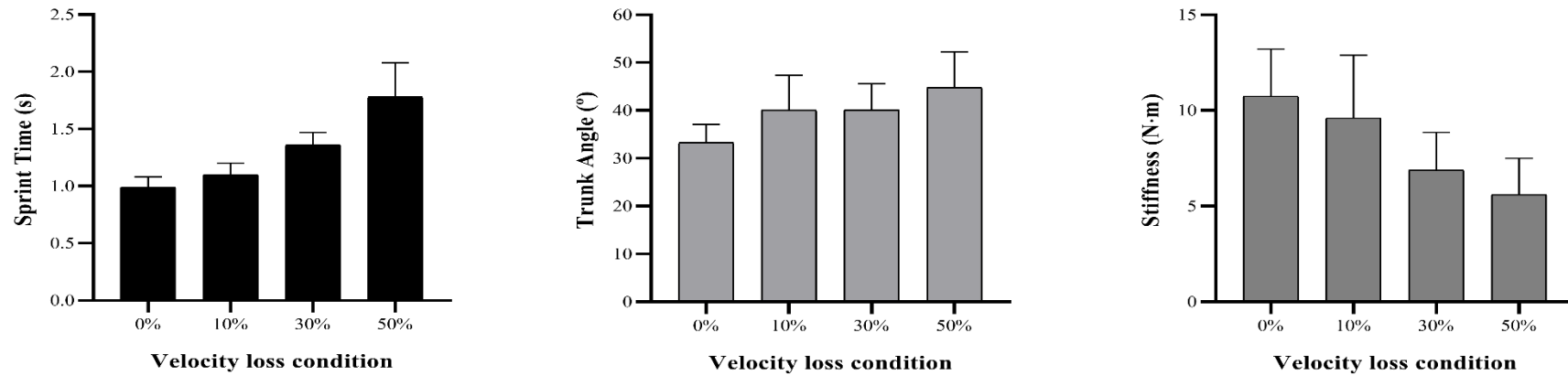
FIGURA 1. Activación muscular en las diferentes condiciones de carga durante: A) fase de aceleración (0-5 m); B) velocidad máxima (20-25 m). Los datos se expresan como media \pm desviación estándar.

Tabla 2. Diferencias en el tiempo de división de sprint, el ángulo del tronco y la rigidez durante las fases de aceleración (0-5 m) y velocidad máxima (20-25 m).

Variables	Comparaciones	Fase de Aceleración			Fase de máxima velocidad		
		%Δ ± IC (90%)	ES ± IC (90%)	P	%Δ ± IC (90%)	ES ± IC (90%)	P
Tiempos de Sprint	0% vs 10%	10.6 ± 3.6	1.05 ± 0.36	< 0.001**	8.3 ± 2.7	1.29 ± 0.43	< 0.001**
	0% vs 30%	36.5 ± 5.0	3.24 ± 0.51	< 0.001**	45.5 ± 3.9	6.11 ± 0.63	< 0.001**
	0% vs 50%	77.8 ± 10.3	6.00 ± 1.02	< 0.001**	116.5 ± 9.6	12.59 ± 1.50	< 0.001**
	10% vs 30%	23.4 ± 2.6	2.29 ± 0.27	< 0.001**	34.4 ± 4.3	3.36 ± 0.48	< 0.001**
	10% vs 50%	60.8 ± 8.3	5.17 ± 0.87	< 0.001**	99.9 ± 9.2	7.88 ± 1.00	< 0.001**
	30% vs 50%	30.3 ± 6.3	3.05 ± 0.71	< 0.001**	48.7 ± 8.6	5.76 ± 1.20	< 0.001**
Ángulo del tronco	0% vs 10%	18.8 ± 14.5	1.41 ± 1.11	0.044*	17.6 ± 57.8	0.42 ± 1.19	0.528
	0% vs 30%	19.9 ± 11.4	1.49 ± 0.89	0.013*	140.9 ± 38.1	2.29 ± 0.84	0.001**
	0% vs 50%	33.7 ± 10.2	2.37 ± 0.79	< 0.001**	250.2 ± 29.2	3.27 ± 0.67	< 0.001**
	10% vs 30%	0.9 ± 6.4	0.04 ± 0.29	0.795	99.0 ± 27.6	1.79 ± 0.63	< 0.001**
	10% vs 50%	12.5 ± 9.3	0.55 ± 0.42	0.039*	187.1 ± 29.7	1.92 ± 0.47	< 0.001**
	30% vs 50%	11.5 ± 5.6	0.51 ± 0.26	0.006**	44.2 ± 11.0	0.67 ± 0.19	< 0.001**
Stiffness	0% vs 10%	-11.9 ± 17.2	-0.44 ± 0.55	0.181	-8.6 ± 16.4	-0.74 ± 1.26	0.306
	0% vs 30%	-36.5 ± 21.1	-1.57 ± 0.66	0.002**	-12.0 ± 14.8	-1.06 ± 1.15	0.123
	0% vs 50%	-48.8 ± 17.9	-2.31 ± 0.57	< 0.001**	-36.6 ± 14.4	-3.79 ± 1.12	< 0.001**
	10% vs 30%	-27.9 ± 21.3	-1.13 ± 0.67	0.012*	-3.8 ± 11.9	-0.32 ± 0.94	0.543
	10% vs 50%	-41.9 ± 18.9	-1.68 ± 0.54	< 0.001**	-30.7 ± 9.8	-1.35 ± 0.35	< 0.001**
	30% vs 50%	-19.4 ± 15.5	-0.67 ± 0.45	0.022*	-28.0 ± 14.6	-1.21 ± 0.50	0.002**

% Vloss: pérdida de velocidad respecto del sprint sin carga; %Δ ± CI (90%): % de cambio (Cohens ES) ± intervalo de confianza 90%. ES ± CI (90%): Tamaño del efecto de Cohen ± intervalo de confianza 90% P: p-valor.
*: P < 0.05. ** P < 0.01.

A)



B)

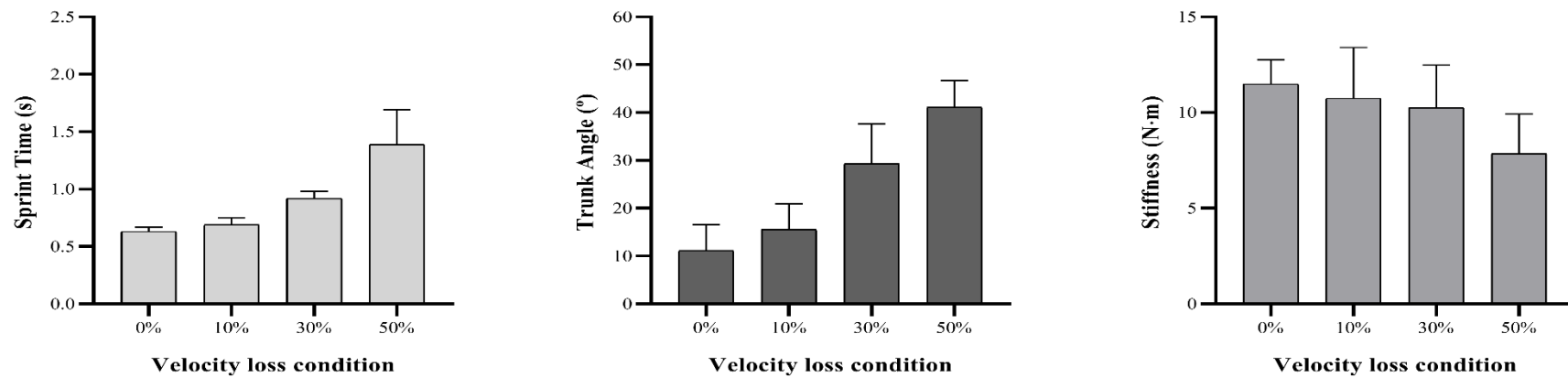


FIGURA 2. Tiempos de sprint, ángulo del tronco y stiffness de miembro inferior en las diferentes condiciones de carga durante: A) fase de aceleración (0-5 m); B) velocidad máxima (20-25 m). Los datos se expresan como media \pm desviación estándar.

Tabla 3. Diferencias en tiempo de contacto, tiempo de vuelo, longitud y frecuencia de zancada durante las fases de aceleración (0-5 m) y velocidad máxima (20-25 m).

Variables	Comparaciones	Fase de aceleración			Fase de máxima velocidad		
		%Δ ± IC (90%)	ES ± IC (90%)	P	%Δ ± IC (90%)	ES ± IC (90%)	P
Tiempo de contacto	0% vs 10%	9.9 ± 6.7	0.63 ± 0.43	0.025*	10.8 ± 4.8	1.10 ± 0.50	0.003**
	0% vs 30%	31.3 ± 7.1	1.80 ± 0.45	< 0.001**	36.3 ± 7.4	3.34 ± 0.77	< 0.001**
	0% vs 50%	53.5 ± 9.7	2.83 ± 0.61	< 0.001**	74.1 ± 7.4	5.98 ± 0.77	< 0.001**
	10% vs 30%	19.5 ± 5.1	1.18 ± 0.33	< 0.001**	23.0 ± 5.3	2.24 ± 0.56	< 0.001**
	10% vs 50%	39.6 ± 9.2	2.38 ± 0.63	< 0.001**	57.7 ± 4.9	3.82 ± 0.40	< 0.001**
	30% vs 50%	16.9 ± 8.7	1.11 ± 0.60	0.008**	27.7 ± 3.9	2.07 ± 0.32	< 0.001**
Tiempo de vuelo	0% vs 10%	-13.4 ± 12.0	-0.40 ± 0.32	0.046*	-10.9 ± 9.6	-0.67 ± 0.53	0.047*
	0% vs 30%	-52.2 ± 41.6	-2.07 ± 0.98	0.004**	-27.8 ± 17.2	-1.88 ± 0.92	0.005**
	0% vs 50%	-54.1 ± 46.0	-2.18 ± 1.06	0.007**	-51.1 ± 33.3	-4.12 ± 1.66	0.001**
	10% vs 30%	-44.8 ± 31.4	-1.67 ± 0.76	0.003**	-18.9 ± 11.1	-1.21 ± 0.61	0.005**
	10% vs 50%	-46.2 ± 35.8	-1.47 ± 0.72	0.008**	-45.1 ± 30.1	-3.10 ± 1.36	0.002**
	30% vs 50%	-12.4 ± 44.6	-0.31 ± 0.87	0.513	-32.3 ± 20.1	-2.01 ± 0.94	0.004**
Amplitud de zancada	0% vs 10%	-3.6 ± 6.3	-0.22 ± 0.36	0.293	-8.9 ± 5.0	-0.78 ± 0.41	0.007**
	0% vs 30%	-28.4 ± 8.2	-1.99 ± 0.47	< 0.001**	-25.7 ± 6.8	-2.51 ± 0.56	< 0.001**
	0% vs 50%	-41.7 ± 8.7	-3.22 ± 0.50	< 0.001**	-49.2 ± 13.6	-5.73 ± 1.08	< 0.001**
	10% vs 30%	-25.6 ± 10.6	-1.77 ± 0.60	0.004**	-18.5 ± 5.5	-1.73 ± 0.46	< 0.001**
	10% vs 50%	-39.5 ± 12.9	-3.60 ± 0.87	< 0.001**	44.3 ± 12.6	-5.01 ± 1.02	< 0.001**
	30% vs 50%	-18.7 ± 11.2	-1.48 ± 0.76	0.006**	-31.6 ± 11.4	-3.26 ± 0.93	< 0.001**
Frecuencia de zancada	0% vs 10%	4.5 ± 7.4	-0.31 ± 0.47	0.260	-0.9 ± 3.7	-0.08 ± 0.31	0.649
	0% vs 30%	1.2 ± 8.3	0.08 ± 0.53	0.779	-4.6 ± 6.4	-0.41 ± 0.53	0.193
	0% vs 50%	5.7 ± 12.3	0.37 ± 0.77	0.389	-5.1 ± 7.6	-0.45 ± 0.63	0.223
	10% vs 30%	6.9 ± 13.5	0.44 ± 0.84	0.351	-3.7 ± 5.5	-0.33 ± 0.46	0.224
	10% vs 50%	11.1 ± 15.8	0.78 ± 1.09	0.214	-4.2 ± 5.6	-0.33 ± 0.42	0.185
	30% vs 50%	4.3 ± 9.4	0.31 ± 0.67	0.397	-3.5 ± 7.2	-0.27 ± 0.52	0.372

% Vloss: pérdida de velocidad respecto del sprint sin carga; %Δ ± CI (90%): % de cambio (Cohens ES) ± intervalo de confianza 90%. ES ± CI (90%): Tamaño del efecto de Cohen ± intervalo de confianza 90% P: p-valor.
*: P < 0.05. ** P < 0.01.

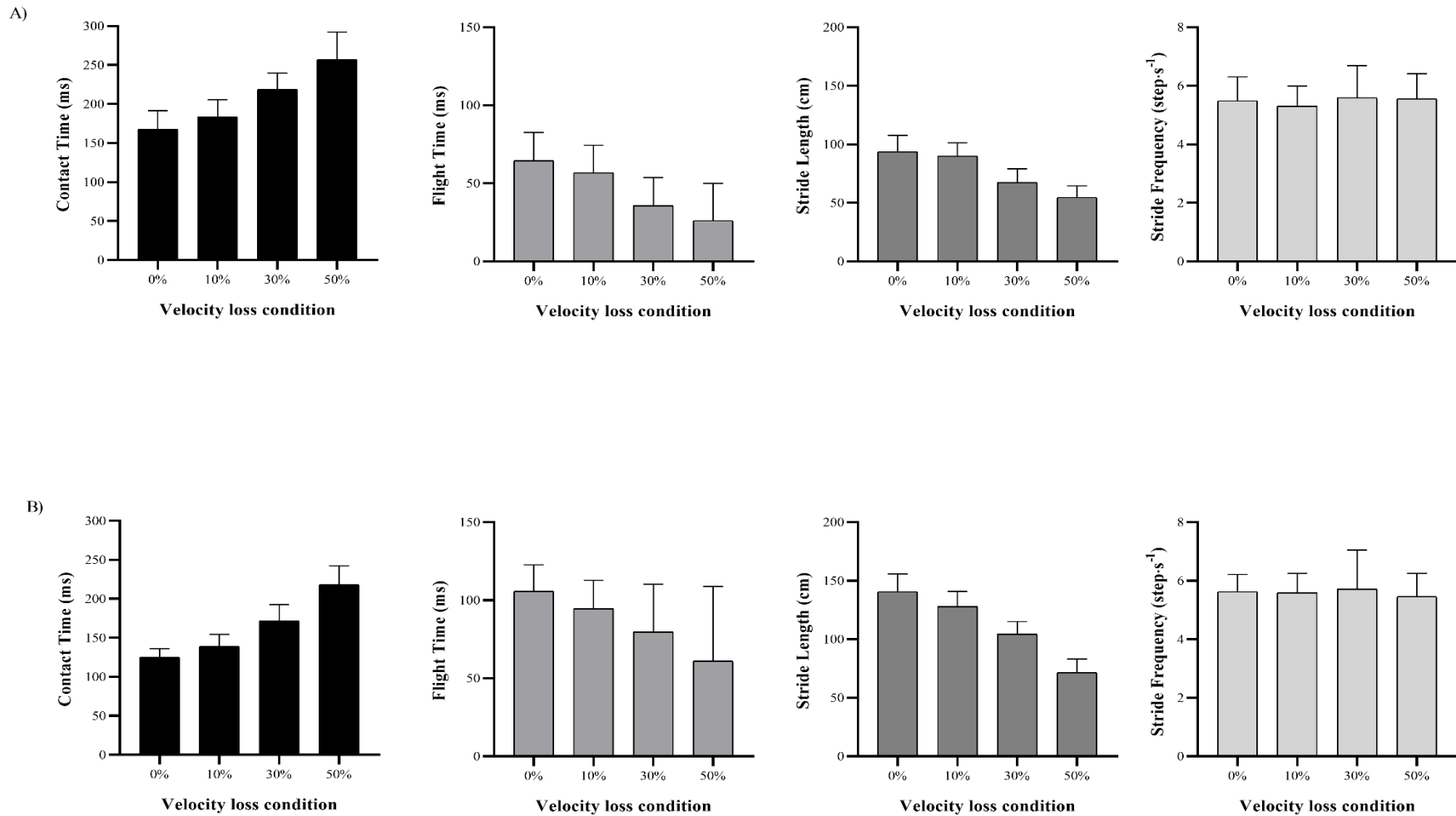


FIGURA 3. Tiempo de contacto, tiempo de vuelo, longitud y frecuencia de zancada en las diferentes condiciones de carga durante: A) fases de aceleración (0-5 m); B) velocidad máxima (20-25 m). Los datos se expresan como media \pm desviación estándar.

9.4 Discusión

Este es el primer estudio que compara la actividad muscular, K_{leg} y cinemática en una amplia gama de condiciones de carga durante RST y sin resistencia. En general, nuestros hallazgos confirmaron que la activación muscular para RF aumentó mientras que BFlh disminuyó a medida que se aumentó la carga del trineo. Adicionalmente, TA° y CT aumentaron mientras que FT y SL disminuyeron con el incremento de cargas, y estas diferencias fueron aún más pronunciadas en la fase de $V_{m\acute{a}x}$. Por último, a medida que aumentaba la carga del trineo, K_{leg} disminuyó durante la fase de aceleración; no obstante, en la fase $V_{m\acute{a}x}$, sólo la condición de 50% Vloss resultó en reducciones significativas en K_{leg} en comparación con las condiciones restantes (0%, 10% y 30% Vloss).

Los presentes hallazgos proporcionan nueva información sobre la función de los músculos de las extremidades inferiores (BFlh, GAS, GM y RF) en diferentes condiciones de carga para el arrastre de trineos. Para acelerar el cuerpo hacia adelante, un atleta debe producir un gran momento extensor de cadera en un período de tiempo muy limitado para alcanzar altos niveles de fuerza horizontal (Ishøi et al., 2019). Si bien esto puede suceder durante los sprints sin carga, nuestros resultados sugieren que, a medida que aumenta la carga, la actividad de BFlh disminuye, probablemente debido a una disminución del rango de movimiento de la cadera y, a su vez a un SL menor. Durante RST con cargas pesadas, los atletas logran una mayor inclinación hacia adelante del tronco (i.e. aumentos en TA°), lo que les permite bajar su CoM, ayudándoles a superar la sobrecarga externa, mediante un incremento en la aplicación de fuerza horizontal acompañada de un mayor tiempo de contacto (Bentley et al., 2018; Kawamori et al., 2014). Este enfoque podría hacer que los atletas adopten un patrón de movimiento llamado "Groucho" (es decir, correr con un aumento de la flexión de rodilla) (McMahon et al., 1987), lo que puede explicar la reducción de la actividad muscular BFlh y el aumento de la actividad de RF. Investigaciones anteriores han informado sobre el papel crucial que desempeñan los músculos isquiotibiales en la producción de fuerza en la fase propulsiva para el rendimiento del sprint. Por ejemplo, Morin et al. (2015) observaron que la fuerza de reacción horizontal producida durante la aceleración del sprint está relacionada con la activación de BFlh justo antes del contacto con el suelo. Del mismo modo, investigadores (Higashihara et al., 2018; Higashihara et al., 2015) reportaron que el músculo BFlh está altamente activado en la fase de apoyo inicial actuando como un potente extensor de cadera durante la fase de aceleración, mientras que durante la fase de V_{max} los músculos isquiotibiales contribuyen fuertemente en la fase excéntrica durante la flexión de rodilla. A este respecto, debe tenerse en cuenta que una

mayor inclinación del tronco al contactar el pie en el suelo durante el entrenamiento RST puede disminuir las fuerzas de frenado asociadas con el aterrizaje (Cronin et al., 2008). Como tal, la activación reducida de BFlh observada con las cargas altas de RST parecen indicar que estas cargas no proporcionan un estímulo adecuado, al menos a nivel muscular, para la mejora del rendimiento del sprint.

Por el contrario, se observó una mayor activación de RF a medida que aumentaba la carga del trineo, lo que puede estar relacionado con la posición de "Groucho". Por lo tanto, parece que los patrones de activación muscular cambian sustancialmente dependiendo de la carga del trineo utilizada. Desde un punto de vista práctico, las cargas de trineo más livianas pueden ser más apropiadas para mejorar las habilidades más relacionadas con las fases posteriores de aceleración y la fase $V_{m\acute{a}x}$, mientras que las cargas más pesadas pueden permitir a los atletas entrenar con estímulos más relacionados con la primera fase de aceleración (i.e. primeros 2-3 pasos). Sin embargo, se debe tener precaución con respecto a la generalización de estos resultados obtenidos con jugadores de rugby. Recientemente se ha informado (Wild et al., 2018), que sólo un aspecto técnico (distancia de despegue) se relacionó consistentemente con el rendimiento del sprint entre los velocistas y los jugadores de rugby y, en consecuencia, existen algunas limitaciones en la forma en que la información disponible sobre el apoyo y la cinemática de despegue y las características de la zancada de los jugadores de rugby pueden ser utilizadas por los entrenadores al diseñar programas de RST.

El stiffness vertical, K_{leg} y el ciclo de acortamiento por estiramiento (SSC) son variables que parecen desempeñar un papel importante en el rendimiento de la velocidad de sprint (Paradisis et al., 2019). K_{leg} disminuyó con el aumento de las cargas y, por lo tanto, dada la importancia de esta variable para el rendimiento del sprint (Brazier et al., 2019), este es un aspecto crucial a considerar. Nuestros hallazgos coinciden con los reportados por Padua et al. (2006), quienes indicaron una disminución de K_{leg} con una carga creciente durante RST. Cabe señalar que bajos niveles de K_{leg} se han relacionado con un almacenamiento y reutilización ineficiente de la energía elástica durante las actividades de SSC, lo que afecta negativamente el rendimiento del sprint (Butler et al., 2003). De hecho, se ha informado que una fase de contacto con el suelo breve y explosiva, que es característica de un sujeto reactivamente fuerte se logra mediante una acción muscular cuasi-isométrica más potente de los extensores de rodilla y los flexores plantares de tobillo, una mayor utilización de estructuras elásticas y tasas más altas de desarrollo de fuerza (RFD) dentro del SSC (Douglas et al., 2018, 2020). Parece ser entonces, que una carga de trineo excesiva puede limitar el desarrollo del SSC y, en menor grado, el

acoplamiento del reflejo H, a pesar de los intentos del atleta por mantener el patrón de movimiento (Alcaraz et al., 2018). Esto probablemente se deba a que se pasa demasiado tiempo en la fase de acoplamiento durante el SSC (Wilson et al., 1994), ya que nuestros resultados indicaron un mayor CT con el incremento de carga del trineo (*Tabla 3*). Sin embargo, se necesita más evidencia respecto de esto último dado que el papel de SSC en el sprint ha sido cuestionado recientemente (Haugen et al., 2019).

En línea con estudios previos (Lockie et al., 2003; Monte et al., 2017), nuestros resultados indicaron que FT y SL disminuyeron con el aumento de las cargas. Estas diferencias se acentuaron aún más en la fase $V_{m\acute{a}x}$ (*Tabla 3*). En ese sentido, FT más cortos se han asociado con una disminución en SL y un aumento en CT, principalmente porque un atleta debe pasar más tiempo en contacto con el suelo para superar la carga aplicada (Lockie et al., 2003; Spinks et al., 2007). De igual manera, un CT más alto permitiría a los atletas aplicar una mayor fuerza horizontal en el contacto con el suelo, pero no alcanzar velocidades más altas (Petrakos et al., 2016). Cabe destacar que los velocistas más rápidos presentan CT más cortos en comparación con los más lentos, lo cual sugiere que se alcancen velocidades de carrera más altas a través de una reducción de CT (Paradisis et al., 2019). Las mayores alteraciones cinemáticas observadas con las cargas más altas de RST también pueden estar relacionadas con la mayor inclinación del tronco (TA°) observada en estas condiciones de carga, lo que significa que los atletas adoptan una posición más inclinada hacia adelante independientemente de la fase analizada. En esa misma línea, Lockie et al. (2003) informaron una disminución de SL y de la velocidad con cargas de trineo de 12.6 y 32.2% PC, acompañadas de cambios en la inclinación del tronco y la flexión de la cadera. Este posicionamiento del cuerpo podría ser más eficiente para la fase de aceleración, permitiendo una mayor aplicación de la fuerza horizontal (Lockie et al., 2003), pero parece afectar negativamente a K_{leg} , tal como hemos señalado en la presente investigación. Los velocistas adoptan un TA° más inclinado hacia adelante durante la fase de aceleración inicial en comparación con las fases de sprint posteriores, cuando adoptan una posición más erecta (es decir, tronco vertical) que permite un mayor recorrido para acelerar su pie hacia abajo y hacia atrás antes del contacto con el suelo, lo que contribuye a una mayor producción de fuerza vertical (von Lieres und Wilkau et al., 2018). Si bien esto puede ser cierto para sprints sin carga, también parece que las cargas más elevadas (30% y 50% Vloss) pueden hacer que los atletas modifiquen su carrera hacia una postura de inclinación atípica y hacia adelante, que es característica en la fase de aceleración, pero no de la fase $V_{m\acute{a}x}$. Esto podría explicar las

grandes diferencias que existen durante el sprint de velocidad máxima para todas las variables cinemáticas.

9.5 Conclusiones

En conclusión, la gran mayoría de las variables biomecánicas y neuromusculares cambian gradualmente con el aumento de las cargas de trineo durante la RST en jugadores de rugby. Por lo tanto, según la hipótesis planteada, confirmamos que cuanto más pesadas sean las cargas del trineo, mayores serán las alteraciones en la actividad muscular, K_{leg} y cinemática. La carga que indujo un 50% de V_{loss} provocó la alteración más extrema, ya que esta condición afectó sustancialmente la actividad EMG, K_{leg} y la cinemática y, en consecuencia, esta carga modificó drásticamente la técnica de sprint.

Las principales limitaciones del presente estudio fueron el pequeño tamaño de la muestra y que EMG sólo se obtuvo durante toda la fase de contacto con el suelo del mismo pie, desde el momento del apoyo hasta el despegue, sin considerar el ciclo de la carrera completo. Además, como los sensores EMG inalámbricos no podían capturar señales más allá de 10-m, la fase de aceleración de cada sprint se realizó por separado de los sprints sobre 30-m, para poder analizar la señal EMG a velocidades máximas. Se realizaron numerosas pruebas de velocidad el mismo día, lo que puede haber inducido a la fatiga en los sujetos. Sin embargo, las cargas de trineo se realizaron en orden aleatorio, por lo tanto, todas las condiciones podrían haberse visto afectadas de manera similar por esta razón. Finalmente, los autores reconocen que los cálculos de K_{leg} usando el método de onda sinusoidal tienen sus limitaciones (Clark & Weyand, 2014).

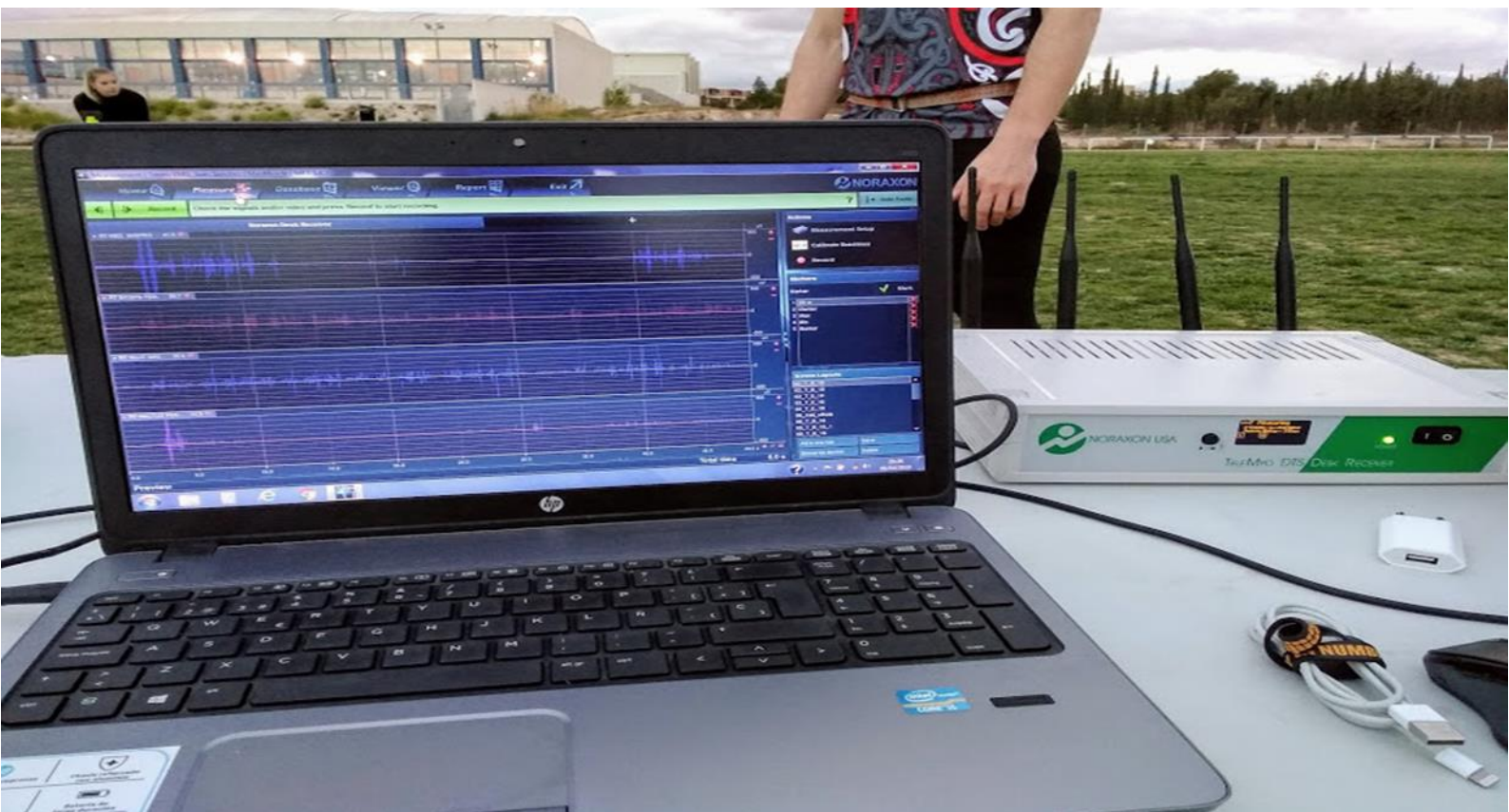
9.6 Aplicaciones Prácticas

Este estudio proporciona información importante a los entrenadores y profesionales sobre los efectos de las cargas durante el entrenamiento RST, respecto de la actividad de los músculos de las extremidades inferiores, K_{leg} y cinemática en jugadores de rugby amateur.

Los profesionales de la fuerza y el acondicionamiento físico deben ser conscientes que el incremento de la carga durante un entrenamiento RST puede conducir a modificaciones importantes en la técnica de carrera (por ejemplo, patrones de activación muscular alterados, disminución de K_{leg} , SL y frecuencia, mayor TA°), tanto en las fases de aceleración temprana como de velocidad máxima. Por lo tanto, aunque los trineos con cargas altas (es decir, 30% y 50% V_{loss}) proporcionan una mayor sobrecarga mecánica y pueden mejorar el rendimiento del sprint en distancias cortas tanto en el trineo de arrastre (Morin et al., 2017) como en el de empuje

(Cahill et al., 2020), es necesario tener precaución cuando se utilizan cargas pesadas, especialmente cuando el objetivo es replicar los movimientos tradicionales de sprint o los patrones de activación muscular durante los sprints sin resistencia.

X. DISCUSIÓN GENERAL



10 Discusión general

El análisis conjunto de los resultados obtenidos en los diferentes estudios anteriores nos permite obtener conclusiones más precisas y contundentes respecto de los métodos de evaluaciones y entrenamiento de la velocidad de sprint que podrían resultar más eficientes para la mejora del rendimiento. Incluso, estos estudios nos han permitido lograr un análisis mas preciso de los efectos que provoca estos métodos sobre el rendimiento en jugadores de rugby de nivel amateur.

En el *Artículo I*, hemos verificado que es muy limitada la cantidad de trabajos de investigación (Darrall-Jones et al., 2015; Darrall-Jones et al., 2016; Vaz et al., 2016) que aportan información sobre características antropométricas, capacidad de aceleración, velocidad de sprint y momento lineal en jugadores de rugby en relación con la edad y el puesto específico. Aunque también, como hemos mencionado anteriormente, existen diferencias en los protocolos de medición de la velocidad de sprint, todavía más acentuado si lo referimos a cada edad y posición en el proceso de formación de los jugadores de rugby. Según hemos afirmado, el rendimiento en capacidad de aceleración, velocidad de sprint y momento lineal está influenciado por los factores de crecimiento, maduración y desarrollo que atraviesan los deportistas jóvenes y estas diferencias a su vez dependen de la etapa individual en la que se encuentren cada uno de ellos (Howard, Cumming, Atkinson, & Malina, 2016; Till et al., 2017). Es decir, que a pesar que en una misma categoría se agrupen deportistas de una misma edad cronológica, existe la posibilidad de que estén atravesando períodos de crecimiento que los diferencien unos de otros. Esto que ocurre entre deportistas jóvenes, no sucede realmente al pasar de la etapa juvenil a senior (pasaje de categoría U18 a Senior) pero aquí es dónde las diferencias se centran especialmente en la masa y el SM en favor de los mayores respecto de los de menor edad, independientemente del puesto de juego. En ese sentido, hemos hallado diferencias significativas entre U14 y el resto de categorías en todas las variables analizadas, y a su vez estas diferencias se redujeron con el incremento de la edad. Esto quedó demostrado al observar que prácticamente no se observaron diferencias entre U18 y Seniors, excepto en las variables antropométricas y SM, tanto para delanteros como para los backs. Por ello, es que consideramos que es de extrema importancia para el desarrollo deportivo a largo plazo, poder controlar el progreso no sólo de la capacidad de aceleración y VMS, sino también el control de PC y SM (inicial y máximo). En jugadores de rugby de academias inglesas, Darrall-Jones et al. (2015) previamente han reportado que SM, VMS y la capacidad de aceleración son factores que diferencian entre las categorías de edad, sugiriendo además que estas variables pueden ser las más importantes para controlar. Nuestros hallazgos también son similares a los reportados

por (Darrall-Jones et al., 2016), ya que sugieren que las categorías de edades juveniles presentan diferentes características antropométricas y rendimiento en sprint independientemente del puesto de juego. En definitiva, consideramos que debemos resaltar que las características antropométricas y físicas se desarrollan de manera continua entre todas las categorías de edad y podrían además aportar datos comparativos para entrenadores y profesionales del deporte.

En cuanto a la distancia óptima de evaluación de la VMS, es importante remarcar, que pese a la variabilidad que existen respecto la distancia necesaria para alcanzar el pico de velocidad, podríamos establecer basándonos en nuestros resultados, una distancia de 30-m para evaluar la VMS en jugadores de rugby, independientemente de la edad y puesto específico. Y esto iría especialmente dirigido aquellos profesionales que deban manejar grupos numerosos donde no exista la posibilidad de realizar una evaluación individual y personalizada. Esto último sustentando en las investigaciones realizadas por Young et al. (2008) quien ha indicado que una prueba de sprint de 30-m se puede utilizar para estimar la VMS. Según Young et al. (2008) a los 30-m los deportistas (jugadores de fútbol australiano) ya habrían alcanzado el 99% de su VMS, e incluso más recientemente algunos autores han indicado que los jugadores de fútbol americano de la National Football League, a los 18.3 m ya han alcanzado el 97.2% del pico de velocidad (Clark et al., 2019). Los dos estudios mencionados (Clark et al., 2019; Young et al., 2008) fueron realizados con jugadores Senior, por lo que también es importante considerar que difícilmente los jugadores de rugby de categorías juveniles puedan alcanzar pasados los 30-m VMS muy superiores a las que alcanzan en distancias menores a 30-m.

En el *Artículo II*, hemos trabajado en el diseño de un test de fuerza isométrica específico de sprint, llamado SIST, en el cual intentamos analizar de qué manera se puede explicar el rendimiento de sprint con trineos de arrastre mediante diferentes pruebas de fuerza y saltos. En ese sentido, consideramos que hemos dado un pequeño paso hacia adelante para intentar comprender las variables que determinan el rendimiento durante el sprint sin carga y RST. Según un estudio reciente (Bentley et al., 2018), conocer los efectos de las diferentes cargas utilizadas durante RST podría ayudar a los entrenadores a comprender los efectos agudos y los cambios cinéticos y cinemáticos para mejorar la planificación del entrenamiento de sprint resistido.

De acuerdo con los resultados de nuestro estudio, hemos podido confirmar que la capacidad de salto está estrechamente relacionada con el rendimiento en sprint sin carga y con trineos de arrastre. En ese sentido, nuestros resultados demuestran que T_{30} , $V_{m\acute{a}x}$ y T_{30} en RST

(20% hasta 80% PC) están estrechamente relacionados con la capacidad de salto en CMJ y SJ ($r = 0.655-0.833$; $p < 0.05$). Estos resultados están en línea con los aportados en jugadores de rugby (Cunningham et al., 2013; Furlong et al., 2019) y rugby league (Cronin & Hansen, 2005). Consideramos importante resaltar que la altura del salto y la potencia pico relativa al PC son variables que se ha demostrado que son útiles para describir la función explosiva de la musculatura de los miembros inferiores para los atletas que realizan sprints (Young et al., 2011). En cuanto a la relación entre las cargas necesarias para alcanzar una pérdida de velocidad determinada, sólo el salto SJ se correlacionó moderadamente con L10% y L30%, aunque también hemos observado correlaciones entre L10%, T_{30} , $V_{\text{máx}}$ y T_{30} con todas las cargas en RST ($r = 0.446-0.724$; $p < 0.05$). Estos resultados podrían estar indicando que el entrenamiento de sprint sin carga o con carga livianas (L10%) son estímulos diferentes respecto de las cargas superiores. Esta última afirmación se observa en las correlaciones que existen entre L30%, L50% y $T_{30}-60\text{BM}$ y $T_{30}-80\text{BM}$, que son las cargas más altas utilizadas en nuestro estudio. Según Bentley et al. (2018) la cinemática del sprint se ve afectada en todas las condiciones de carga durante RST en comparación con el sprint sin carga añadida, e incluso cargas de un 20% Vloss provocan un incremento en las fuerza propulsivas, pero su utilización por parte de los entrenadores podría no ser una estrategia apropiada, ya que algunos de los cambios agudos son potencialmente contraproducentes, como la reducción en $V_{\text{máx}}$ y los incrementos en CT.

Las correlaciones observadas entre el test SIST y el resto de variables indican que SIST_{rel} podría explicar el rendimiento individual de los jugadores de rugby respecto de las cargas utilizadas en relación con la pérdida de velocidad (L10%, L30% y L50%). Si bien las correlaciones observadas fueron *moderadas* ($r = 0.508-0.675$; $p < 0.05$) entendemos que este novedoso test que debe realizarse en una posición similar a la posición de partida de un sprint puede ser utilizado para realizar una evaluación de fuerza que esté más relacionada con las acciones que se dan con frecuencia en el deporte. Es importante también resaltar que los tres tests de fuerza realizados en el presente estudio demostraron estar correlacionados entre sí ($r = 0.674-0.681$; $p < 0.001$). De acuerdo con Duthie (2006) independientemente de los métodos utilizados para desarrollar la fuerza, es fundamental que la fuerza desarrollada se pueda aplicar en un movimiento deportivo específico, y por ello consideramos que este nuevo test podría ser una nueva manera de evaluar fuerza de un jugador de rugby en una posición más relacionada con el gesto específico del sprint. Esta información podría ayudar a los entrenadores a identificar pruebas apropiadas para monitorear los efectos del entrenamiento, prescribir cargas para RST y evaluar mejor el perfil específico de fuerza-velocidad de un atleta, lo que ayudaría

en el diseño de los programas de entrenamiento y evaluación. Tal como hemos mencionado anteriormente, los factores limitantes del rendimiento del sprint sin carga añadida parecen ser bastante diferentes a los que determinan el rendimiento del sprint con trineos de arrastre.

En el *Artículo III*, a diferencia de lo que hemos realizado en el *Artículo I*, se han analizado las diferencias entre los puestos específicos en jugadores senior (i.e. delanteros y backs) tal como reportaron previamente otros autores en jugadores de rugby senior (Nakamura et al., 2016; Vaz, Morais, Rocha, & James, 2014). Nuestro estudio se ha diferenciado porque hemos profundizado el análisis incluyendo las diferencias entre los puestos más específicos (i.e. FR vs BF; OB vs IB). Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en las características antropométricas, rendimiento en sprint, SM y fuerza absoluta. En esa línea, estos resultados coinciden con los reportados por Nakamura et al. (2016) y La Monica et al. (2016), aunque contrastan con los del estudio de Vaz et al. (2014). Estas diferencias halladas en la literatura podrían deberse al nivel de los deportistas y a las diferencias en los protocolos de los tests utilizados.

Respecto de las diferencias en los puestos específicos, hemos verificado que no existen estudios recientes que hayan analizado las diferencias intra-grupos en delanteros y backs. Los resultados marcan que, en delanteros, FR comparados con BF, demostraron características antropométricas y físicas claramente diferentes, lo cual respalda las investigaciones previas, donde se ha afirmado que los jugadores de FR requieren altos niveles de fuerza y potencia, ya que deben tomar posesión del balón, están en contacto continuo con los rivales y tienen pocas oportunidades para correr en posesión (Duthie et al., 2003). Tanto los jugadores de las segundas como terceras líneas (i.e. BF) son generalmente más altos, con una gran masa corporal y potentes, debido a que participan en más acciones de juego abierto, y sobre todo en la tercera línea donde es requisito que sean no sólo potentes, sino que también requieren una gran movilidad en el juego además de tener una excelente capacidad de aceleración, velocidad y resistencia (Duthie et al., 2003). En contraposición a esto, en la comparación intra-grupo para los backs, no hemos encontrado diferencias en ninguna de las variables analizadas, excepto en BM, 1RM-SQ, V0 y Pmáx (ES, *probable*; $p > 0.05$). Esto parece indicar que a pesar de los diferentes roles que cumplen estos puestos específicos en el rugby (Duthie et al., 2003; Lindsay et al., 2015), no existen diferencias significativas respecto del rendimiento físico en las pruebas analizadas. La naturaleza del juego moderno requiere que los jugadores sean fuertes, ágiles, resistentes y con una capacidad de producción de fuerza rápida para acelerar y tacklear (Furlong et al., 2019). Por lo tanto, todos los jugadores deben estar preparados y entrenados para afrontar

las demandas actuales del juego. A pesar de las diferencias marcadas previamente por Duthie et al. (2003), es posible que en la actualidad todos los backs (independientemente del puesto específico que ocupen) deben poseer las mismas características físicas para afrontar las demandas del juego. Todos los backs, debido a su menor estatura y mayor capacidad de correr a velocidades más altas, están más involucrados en acciones de transporte de balón cuyo objetivo es lograr que su equipo gane la línea de ventaja a través de la velocidad y agilidad (Lindsay et al., 2015).

Luego, con respecto a las correlaciones entre variables de rendimiento físico, nuestros resultados coinciden con Furlong et al. (2019), quienes han afirmado que las pruebas de fuerza y potencia se pueden utilizar para predecir el rendimiento del sprint. Por lo tanto, independientemente del puesto específico, entendemos que es de extrema importancia para los profesionales del deporte, poder evaluar y desarrollar las capacidades de fuerza y potencia debido a la estrecha relación que existe entre éstas y la velocidad de sprint (Cunningham et al., 2013; Furlong et al., 2019; Morris et al., 2020; Nygaard Falch et al., 2020; Young et al., 2011). Finalmente, hemos verificado que no existen estudios con jugadores de rugby donde se hayan analizado las diferencias en el perfil mecánico de Fv y cuáles son las correlaciones entre las variables mecánicas obtenidas (F0, V0 y Pmáx), Fvimb y aquellas relacionadas con la fuerza y la velocidad. Nuestros resultados indican que, independientemente del puesto de juego, no existen diferencias en las variables mecánicas para ninguna comparación, excepto en F0 (delanteros vs backs, $p = 0.027$) y Pmáx (BF vs FR, $p = 0.037$), y tampoco existen diferencias en Fvimb. Por el tanto, nuestros resultados parecen indicar que Fvimb no es capaz de discriminar a los deportistas de acuerdo al puesto de juego. Adicionalmente, según nuestros resultados Fvimb no parece estar relacionado con el rendimiento de sprint, la fuerza o la capacidad de salto, al menos en jugadores de rugby.

Algunos autores (Escobar Álvarez et al., 2019; Jiménez-Reyes et al., 2018, 2019) mencionaron que el entrenamiento individualizado basado en el perfil de Fv mejora considerablemente el rendimiento en la capacidad de salto en deportistas. Las variables analizadas en el presente estudio, indicaron que Fvimb no se correlacionó con el rendimiento de sprint, salto o fuerza. F0 mostró correlaciones *moderadas* con V0 ($r = -0.438$, $p < 0.05$), CMJ ($r = 0.450$, $p < 0.05$), SJ40 y SJ50 ($r = 0.532-0.551$, $p < 0.01$), mientras que V0 demostró correlaciones *moderadas* con Pmáx, CMJ y SJ. Sin embargo, Pmáx demostró correlaciones *moderadas a fuertes* ($r = 0.805-0.855$, $p < 0.01$) con CMJ y SJ. Estos resultados son similares

a los encontrados en jugadores de fútbol, donde $P_{\text{máx}}$ fue la variable mecánica más correlacionada con el rendimiento de saltos y sprint (Jiménez-Reyes et al., 2018; Marcote-Pequeño et al., 2019).

En el *Artículo IV*, hemos verificado que no existen investigaciones que hayan analizado el uso del Fvimb para prescribir cargas de entrenamiento con el objetivo de mejorar el rendimiento del salto, fuerza en sentadilla y sprint. El uso del perfil Fv se ha propuesto como un método eficaz para prescribir cargas de entrenamiento según el porcentaje de Fvimb que se obtenga a través de la evaluación (Jiménez-Reyes et al., 2017, 2019). De acuerdo con nuestros resultados, el uso del perfil Fv podría ser un método efectivo para alcanzar mejoras en el rendimiento, ya que todos los grupos individualizados lograron mejorar su rendimiento en las variables de sprint analizadas, y contrario a ello, en el grupo NI no se observaron mejoras en el rendimiento (excepto en SM) pese a haber realizado un programa de entrenamiento de idénticas características que el grupo WB. Estos resultados son prometedores, en cuanto a la aplicación práctica de este tipo de evaluación ya que el rendimiento de sprint y SM es considerado un factor de determinante para el jugador de rugby (Baker & Newton, 2008; Jones et al., 2018). En contraposición con estos cambios importantes, nuestros resultados indican que pese haber realizado un programa de entrenamiento individualizado basado en el Fvimb, no hemos observado cambios en la altura de salto en ninguno de los grupos de intervención. Estos resultados son contrarios a los reportados por (Escobar Álvarez et al., 2019; Jiménez-Reyes et al., 2017, 2019) quienes indicaron mejoras sustanciales en la capacidad de salto conjuntamente con una disminución del Fvimb luego de un programa de entrenamiento individualizado. Según Markovic, Jukic, Milanovic, & Metikos (2007) el entrenamiento de sprint a corto plazo produce efectos de entrenamiento similares o incluso mayores en la función muscular y el rendimiento deportivo comparado con el entrenamiento pliométrico. En ese sentido, es importante remarcar que la mejora del rendimiento de sprint es un aspecto fundamental a tener en cuenta en la programación del entrenamiento en jugadores de rugby. A pesar de la importancia que tiene la evaluación de la capacidad de salto en el rendimiento (Young et al., 2011), y de la numerosa cantidad de estudios que han reportado correlaciones entre saltos y sprints (Cunningham et al., 2013; Furlong et al., 2019; Jalilvand et al., 2019; Morris et al., 2020; Young et al., 2011), nuestros resultados parecen indicar que priorizar una sola parte de la curva fuerza-velocidad puede ser contraproducente para el rendimiento de la capacidad de salto en jugadores de rugby. Los resultados sugieren que las estrategias que combinan cargas bajas y altas podrían ser útiles

para el desarrollo de la velocidad de sprint en jugadores de rugby con un perfil Fv bien equilibrado.

Los programas de entrenamiento con diferentes cargas tienen como objetivo apuntar a todas las áreas de la curva Fv como un intento de aumentar las adaptaciones en todo el espectro fuerza-velocidad (Cormie et al., 2011). Los resultados en las variables mecánicas del perfil Fv, mostraron cambios positivos en el área de la curva que se priorizó durante el período entrenamiento y, a su vez, hubo una reducción en la porción opuesta. Estos hallazgos están de acuerdo con Jiménez-Reyes et al. (2017), quien informó que cuando el entrenamiento se centró en aumentar V0, se observó un descenso paralelo en F0 y viceversa. Por lo tanto, se debería tener precaución cuando sólo se prioriza un extremo del espectro Fv con el objetivo de alcanzar el perfil "óptimo", ya que podría inducir disminuciones en el extremo opuesto, siendo esta una explicación plausible respecto de la falta de adaptaciones positivas en la fuerza de sentadillas y rendimiento del salto. Por lo tanto, la interpretación del perfil Fv debe considerarse teniendo en cuenta los cambios en F0 y V0, ya que una disminución en alguna de las dos variables (F0 y V0) podría dar como resultado un Fvimb más ajustado respecto del "óptimo", pero podría conducirnos a una disminución del rendimiento atlético.

Adicionalmente, consideramos que existen dos posibles explicaciones que debemos considerar respecto de la ausencia de cambios positivos en la capacidad de salto. En primer lugar, el mantenimiento de la fuerza y la pérdida de rendimiento en la capacidad de salto pueden indicar la presencia de fatiga neuromuscular que se acumula en el transcurso de la temporada, tal como se ha reportado recientemente en deportistas de alto rendimiento (Talpey et al., 2019). Segundo, teniendo en cuenta que los participantes de nuestro estudio son deportistas de alto rendimiento con más de 10 años de experiencia de entrenamiento, podríamos también pensar que los efectos a largo plazo de los programas de RT periodizados, en este caso particular, parecen seguir la ley de retornos decrecientes, ya que mientras la exposición al entrenamiento aumenta, más allá de los 12-24 meses las tasas de adaptación se reducen (McMaster et al., 2013).

En el *Artículo V*, hemos verificado que no existen en la literatura científica, estudios que hayan analizado los cambios en la activación muscular mediante EMG, durante un sprint de 30-m en jugadores de rugby amateur. Adicionalmente, hemos analizado los cambios en K_{leg} y variables cinemáticas tal como han estudiado previamente otros autores mencionados en dos revisiones actuales (Alcaraz et al., 2018; Petrakos et al., 2016). La posibilidad de analizar la actividad EMG de los músculos determinantes en el rendimiento de sprint ha sido considerada

de extrema importancia recientemente. Howard et al. (2018) indicaron que el uso de tecnología inalámbrica puede facilitar el análisis de todos los músculos de las extremidades inferiores durante la carrera y permitir a los profesionales realizar el análisis en un entorno ecológicamente válido. Los músculos BFlh, RF, GM y GAS fueron seleccionados debido a que son los que cumplen funciones de extrema importancia durante el sprint. Por ejemplo, durante el apoyo en la fase de aceleración, el torque de extensión de la cadera es significativamente mayor que durante la fase de máxima velocidad, y la activación EMG relativa del músculo BFlh es significativamente mayor que la del Semitendinoso (Higashihara et al., 2018). Además, la arquitectura pennada de BFlh sugiere que su estructura es más adecuada para una producción alta de fuerza, en lugar de los rápidos cambios de longitud que probablemente ocurran en el sprint a alta velocidad que son más favorables para la arquitectura fusiforme del Semitendinoso, lo cual sugiere que este músculo está pensado para este tipo de acciones (Hegyi et al., 2019). Esto puede tener un gran impacto en el rendimiento del sprint RST, especialmente cuando se corre en condiciones de cargas altas. Además, el Gmáx, GM y RF (Bartlett et al., 2014; Edouard et al., 2018) y GAS (Kyröläinen et al., 2005) también han sido investigados previamente. Como se mencionó en el presente estudio, con el aumento de las cargas, la actividad EMG de BFlh se reduce mientras que la del RF aumenta. Esto tiene implicaciones muy importantes, porque una mayor producción de fuerza en la dirección óptima para aumentar la velocidad de carrera efectivamente requiere una mayor actividad EMG de todos los músculos de biarticulares (BF, RF y GAS) durante todo el ciclo de carrera (Kyröläinen et al., 2005). Es importante tener en cuenta que los isquiotibiales juegan un papel clave en la generación de fuerzas de reacción durante el sprint en la fase de propulsión (Howard et al., 2018). Entonces, si la actividad de BFlh se reduce durante el arrastre de cargas pesadas en comparación con la condición sin carga, esto puede comprometer la producción de fuerza horizontal y disminuir el rendimiento.

Respecto de los cambios en las variables cinemáticas y K_{leg} , entendemos que es difícil poder disociar los efectos de estas variables, ya que todas se ven afectadas con el incremento de carga durante RST. En ese sentido, realizar un sprint con una mayor flexión de la rodilla (i.e. “Groucho” running) hace que los sujetos adopten un patrón de movimiento que puede resultar en aumentos progresivos de CT, mientras que, a velocidades bajas, la fase aérea puede desaparecer por completo (McMahon et al., 1987). Según hemos mencionado, durante la fase de aceleración algunos atletas no mostraron tiempo de vuelo. Adicionalmente, el incremento en TA° fue creciente de acuerdo al incremento de la carga, y esto podría indicar modificaciones técnicas de carrera durante el sprint RST, con los efectos subyacentes de estos cambios en los

patrones de actividad EMG (Higashihara et al., 2018; Higashihara et al., 2015; Kyröläinen et al., 2005). Algunos investigadores han mencionado que las cargas de trineo más livianas son las más efectivas, ya que se ha demostrado que tienen menos impacto en las variables de tiempo de contacto, ángulos articulares y rangos óptimos de movimiento (Kawamori, Newton, & Nosaka, 2014; Maulder et al., 2008; Murray et al., 2005; van den Tillaar, 2020).

Nuestros resultados también indicaron que K_{leg} disminuyó con el incremento de las cargas y, por lo tanto, dada la importancia de K_{leg} para el rendimiento del sprint (Monte, Muollo, et al., 2017), este es un aspecto crucial a tener en cuenta. Padua et al. (2006) informaron una disminución en K_{leg} mediante el incremento de la carga del trineo, reduce la capacidad del atleta para alcanzar velocidades más altas y al mismo tiempo potencialmente aumentando la fatiga. Por lo tanto, consideramos muy importante remarcar que a pesar de la diferencia del 8% entre 0 vs 10% Vloss, estas diferencias se consideraron como *no es claro* ($p = 0.306$), por lo que entendemos que las diferencias se hicieron más grandes con el incremento de la carga (0 vs 30%, *probable*; 0 vs 50% *muy probable*). Recientemente Douglas, Pearson, Ross, & McGuigan (2020) mencionaron que un K_{leg} más alto permitirá alcanzar fuerzas de reacción del suelo (GRF) verticales más altas, facilitar el almacenamiento y el retorno de la energía de deformación elástica y aumentará la SF a través de una reducción en CT. Esto respalda al menos en parte nuestro argumento en torno a la necesidad de maximizar K_{leg} , especialmente en la fase $V_{m\acute{a}x}$, donde el GRF vertical juega un papel clave en el rendimiento del sprint.

XI. CONCLUSIONES GENERALES



11 Conclusiones Generales

Artículo I

En conclusión, este estudio sugiere que la distancia óptima para la evaluación de la velocidad de sprint de los jugadores de rugby es de 30-m y que la masa corporal, el momento lineal y la velocidad máxima de sprint claramente discriminan entre jugadores de diferentes categorías de edad y posiciones de juego.

Artículo II

El $SIST_{rel}$ que mide la aplicación de fuerza resultante en una posición más relacionada con el sprint explica gran parte de la respuesta individual de cada atleta durante el sprint resistido y también podría usarse para prescribir y cuantificar cargas en el RST de una manera más objetiva e individual.

Artículo III

Existen claras diferencias entre los backs y los delanteros en el rendimiento de fuerza y sprint. Aunque no hubo diferencias entre posiciones específicas entre los backs, contrariamente las posiciones específicas entre delanteros mostraron diferencias claras en todas las variables de rendimiento físico. Poseer altos niveles de fuerza y potencia relativas pueden ser relevantes para lograr un alto rendimiento en velocidad de sprint y saltos en jugadores de rugby senior.

Artículo IV

Los programas de entrenamiento de fuerza individualizados basados en Fvimb indujeron mejoras en el rendimiento del sprint. Además, los programas individualizados basados en Fvimb indujeron mejores ajustes del perfil de Fv "actual" al perfil de Fv "óptimo" teórico, aunque ningún grupo mejoró la fuerza en sentadillas, la altura de salto ni la potencia máxima.

Artículo V

En general, la mayoría de las variables cambian gradualmente con el aumento de la resistencia durante el RST en jugadores de rugby. La carga que indujo un 50% de Vloss produjo los efectos más extremos ya que esta condición afectó sustancialmente la actividad EMG, K_{leg} y la cinemática, alterando de manera significativa el patrón de movimiento de la carrera.

XII. APLICACIONES PRÁCTICAS



12 Aplicaciones Prácticas Generales

Artículo I

- En jugadores de rugby amateur, una prueba de sprint de 30 m sería una distancia suficiente para la evaluación de la velocidad de sprint, independientemente de la categoría y del puesto de juego. Estos valores de velocidad de sprint también podría ser una referencia útil al monitorear jugadores en entrenamientos y competiciones usando umbrales de velocidad individuales, en lugar de los umbrales generalizados impuestos en los distintos dispositivos de control (i.e. GPS).
- A partir de estas evaluaciones, podemos obtener variables como la capacidad de aceleración, VMS, SM inicial y máximo, que diferencian con claridad a los jugadores de cada categoría y puesto específico.

Artículo II

- Los entrenadores y profesionales del deporte podrían lograr una mayor comprensión de las variables de entrenamiento que afectan el rendimiento del sprint al incluir este nuevo test SIST (SIST_{rel}) en la evaluación de las capacidades relacionadas con la fuerza. En este sentido, son muchos los factores influyen en la capacidad del músculo para generar potencia, por lo que el entrenamiento de la potencia muscular requiere un cuidado especial en la prescripción de ejercicios adecuados (Kraemer & Newton, 2000).
- Esta prueba puede ser utilizada para determinar la capacidad de los atletas para tolerar cargas de RST durante el entrenamiento específico de sprint y para diseñar sesiones de entrenamiento orientadas a desarrollar la fuerza y la potencia específica de los miembros inferiores en los jugadores de rugby, lo que a su vez podría impactar positivamente en la mejora del rendimiento de la velocidad de sprint.

Artículo III

- Los hallazgos actuales brindan información significativa para los entrenadores de rugby que podrían mejorar el proceso de diseño del programa de captación e identificación de talentos.
- Los hallazgos actuales sugieren que poseer altos niveles de fuerza y potencia relativas pueden ser relevantes para alcanzar niveles más altos de rendimiento de sprints y saltos en backs y delanteros.
- Fvimb no parece estar relacionado con el sprint, la fuerza ni la capacidad de salto, al menos en los jugadores de rugby amateur.

Artículo IV

- En términos prácticos, consideramos que la evaluación del jugador de rugby debería tener en cuenta Fvimb para individualizar las cargas de entrenamiento de acuerdo con las necesidades de cada atleta, con el objetivo de identificar en qué área de la curva fuerza-velocidad un atleta necesita priorizar su entrenamiento de fuerza. Sin embargo, consideramos basándonos en nuestros resultados, que debemos programar el entrenamiento pensando en toda la curva (aunque se prioriza una zona) para evitar disminuciones en la zona no entrenada. Por lo tanto, los entrenadores de fuerza y acondicionamiento físico también deben evaluar la fuerza (i.e. 1RM-SQ) para determinar exactamente las cargas relativas y absolutas que se utilizarán en los programas y, finalmente incluir la velocidad de sprint. Esto nos permitirá tener una mayor comprensión de los cambios en el rendimiento.
- La combinación de estas evaluaciones junto con programas de entrenamiento bien diseñados puede conducir a mejoras en la fuerza absoluta de los miembros inferiores y el rendimiento del sprint, que son cualidades clave en los jugadores de rugby.

Artículo V

- Este estudio proporciona información importante a los entrenadores y profesionales del deporte sobre los efectos del incremento de las cargas en la actividad muscular EMG, K_{leg} y variables cinemáticas durante el sprint sin carga y RST en jugadores de rugby amateur. Según los hallazgos actuales, consideramos que debemos ser conscientes que el incremento de la carga durante RST puede provocar modificaciones técnicas en el sprint (cambios en los patrones de activación, disminución de K_{leg} , SL y SF, e incrementos en CT y TA°), tanto en la fase de aceleración como de velocidad máxima.
- Además, para cargas superiores a 50% Vloss, los jugadores de rugby parecen adoptar patrones de carrera similares a la posición de "Groucho", que se ha relacionado con la posibilidad de sufrir lesiones por tensión muscular.
- Es necesario tener precaución cuando se utilizan cargas pesadas (i.e. 30% y 50% Vloss) si el objetivo es replicar las acciones de velocidad de sprint y los patrones de activación muscular. Además, si los profesionales de la fuerza y acondicionamiento físico desean realizar un programa de entrenamiento con el objetivo de mejorar el rendimiento del sprint, evitar la fatiga y las modificaciones técnicas, las cargas no deberían superar el 30% Vloss (~ 40% BM), independientemente de la fase de sprint a entrenar.
- En líneas generales, pareciera que cuanto mayor es la distancia a utilizar en un entrenamiento de RST, menor debe ser la carga a utilizar (Pareja-blanco et al., 2020).

XIII. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN



13 Limitaciones de la Investigación

En líneas generales, la principal limitación de estos estudios es el nivel de los deportistas de todos los estudios que hemos realizado. Debido a la condición de deportistas amateur, lógicamente, los resultados de este estudio son aplicables a sujetos con un rendimiento y un grado de entrenamiento similar a los que poseían los sujetos participantes del estudio. Hubiese sido interesante aplicar estos mismos estímulos con deportistas de élite para comprobar si la respuesta hubiese sido igual o similar, o totalmente opuesta.

Respecto del tamaño de las muestras, en el *Artículo I*, hemos conseguido un tamaño de muestra importante ($n = 300$) pero eso ha ocasionado que se dificulte la posibilidad de realizar una prueba para obtener el PHV y el estado de maduración de los jugadores más jóvenes, lo que hubiese ayudado a tener una comprensión más precisa de los resultados del estudio. También hubiese sido importante obtener datos sobre fuerza o capacidad de salto, para complementar los datos obtenidos y fortalecer las conclusiones relacionadas con las diferencias entre categorías y puestos específicos.

En el *Artículo II*, las principales limitaciones del estudio están relacionadas con la imposibilidad de realizar un período de familiarización del test SIST con los participantes. También es importante remarcar que el test aún no ha sido validado y que algunas de las correlaciones reportadas fueron moderadas. Los autores reconocemos que este estudio es un primer paso que puede lograr mejorar nuestra comprensión de la relación existente entre la fuerza y velocidad y las cargas necesarias para alcanzar un porcentaje de pérdida de velocidad durante RST.

El *Artículo III*, entendemos que la principal limitación está relacionada con el tamaño de la muestra, ya que si bien el total de participantes es importante ($n = 54$), al tener que dividirlos por puestos específicos para realizar las correlaciones, podría suceder que los resultados pierdan potencia estadística.

Lo mismo ocurrió en el *Artículo IV*, ya que, al tratarse de un estudio de intervención, la complejidad del diseño hizo que necesariamente debimos dividir la muestra total ($n = 34$) en cuatro grupos de entrenamiento. En ese sentido, se necesitaría un tamaño de muestra mayor, ya que debido a los resultados pre-intervención (% Fvimb) uno de los grupos (Vimb) se conformó por sólo 6 participantes, mientras que los grupos Fimb, WB y NI incluyeron 11, 9 y 8 participantes, respectivamente. Adicionalmente, sería interesante analizar el efecto de los programas de entrenamiento con más sesiones de entrenamiento y semanas, ya que podría ser

que para conseguir mejorar el rendimiento sean necesarias un mayor número semanas y sesiones de entrenamiento (Jiménez-Reyes et al., 2019; Morin, Capelo-Ramirez, Rodriguez-Pérez, Cross, & Jimenez-Reyes, 2020).

Finalmente, en el *Artículo V*, las principales limitaciones fueron el pequeño tamaño de la muestra ($n = 12$) y que el EMG sólo se obtuvo durante toda la fase de contacto con el suelo en un sólo apoyo, desde el aterrizaje hasta el despegue (~20% del ciclo total de la carrera). Además, como los sensores inalámbricos del EMG no pudieron capturar señales más allá de los 10-m, el sprint de la fase de aceleración se realizó por separado de los sprints de 30-m para poder analizar el EMG durante la fase de máxima velocidad.

XIV. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN



14 Futuras Líneas de Investigación

En la presente investigación, luego de realizar el primer estudio, todas las evaluaciones de sprint se han realizado sobre una distancia de 30 m basándonos en los resultados alcanzados. Por lo tanto, utilizando esta distancia recomendada, podría ser de gran interés analizar la importancia de controlar las diferentes respuestas mecánicas, hematológicas y hormonales en jugadores de rugby a lo largo de un período de entrenamiento resistido utilizando trineos de arrastre, ya que esto podría lograr que los profesionales del deporte y entrenadores alcancemos un mayor entendimiento para poder regular la carga de entrenamiento y detectar posibles estados de sobrecarga o excesiva fatiga. Por ejemplo, algunas de las cuestiones a resolver en esta misma línea a medio y corto plazo podrían ser:

- Dado que el uso de métodos de entrenamiento resistido es común en la mayoría de deportes en los que la velocidad es determinante, sería interesante seguir comprobando los efectos de cargas con trineos y chalecos en las diferentes fases, así como también analizar si un programa de entrenamiento de estas características puede mejorar el rendimiento de fuerza en sentadillas y saltos en participantes de mayor experiencia y nivel competitivo.
- Analizar los cambios en la EMG, K_{leg} y variables cinemáticas ante una misma pérdida de velocidad, comparando variables mediante el uso de trineo y chalecos.
- Analizar los efectos en la EMG, K_{leg} y variables cinemáticas luego de un período de entrenamiento ante una misma pérdida de velocidad (i.e. 10% V_{loss} vs 30% V_{loss} vs 50% V_{loss}) mediante el uso de trineo y chalecos. De esta manera se podría intentar analizar si realmente las cargas “pesadas” tienen un efecto a mediano o largo plazo que pueda alterar la técnica de carrera.
- Estudiar el uso del perfil Fv de salto y sprint, usando ambas pruebas para programar el entrenamiento de fuerza y velocidad basándose en el Fvimb y prescribir las cargas de manera individualizada.

XV. REFERENCIAS



15 Referencias

- Alcaraz, P. E., Elvira, J. L. L., & Palao, J. M. (2014). Kinematic, strength, and stiffness adaptations after a short-term sled towing training in athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(2), 279–290.
- Alcaraz, P. E., Carlos-Vivas, J., Oponjuru, B. O., & Martínez-Rodríguez, A. (2018). The effectiveness of resisted sled training (RST) for sprint performance: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 48(9), 2143–2165.
- Alcaraz, P. E., Palao, J. M., & Elvira, J. L. L. (2009). Determining the optimal load for resisted sprint training with sled towing. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 480–485.
- Alcaraz, P. E., Palao, J. M., Elvira, J. L. L., & Linthorne, N. P. (2008). Effects of three types of resisted sprint training devices on the kinematics of sprinting at maximum velocity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 890–897.
- Austin, D., Gabbett, T., & Jenkins, D. (2011). The physical demands of Super 14 rugby union. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(3), 259–263.
- Bachero-Mena, B., & González-Badillo, J. J. (2014). Effects of resisted sprint training on acceleration with three different loads accounting for 5, 12.5, and 20% of body mass. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(10), 2954–2960.
- Bachero-Mena, B., Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Yáñez-García, J. M., Mora-Custodio, R., & González-Badillo, J. J. (2017). Relationships between sprint, jumping and strength abilities, and 800 m performance in male athletes of national and international levels. *Journal of Human Kinetics*, 58(1), 187–195.
- Baker, D. G., & Newton, R. U. (2008). Comparison of lower body strength, power, acceleration, speed, agility, and sprint momentum to describe and compare playing rank among professional rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(1), 153–158.
- Barr, M. J., & Nolte, V. W. (2011). Which measure of drop jump performance best predicts sprinting speed? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(7), 1976–1982.

- Barr, Matthew J., Sheppard, J. M., Gabbett, T. J., & Newton, R. U. (2014). Long-term training-induced changes in sprinting speed and sprint momentum in elite rugby union players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(10), 2724–2731.
- Barr, M. J., Sheppard, J. M., & Newton, R. U. (2013). Sprinting kinematics of elite rugby players. *Journal of Australian Strength & Conditioning*, 21(4), 14–20.
- Bartlett, J. L., Sumner, B., Ellis, R. G., & Kram, R. (2014). Activity and functions of the human gluteal muscles in walking, running, sprinting, and climbing. *American Journal of Physical Anthropology*, 153(1), 124–131.
- Batterham, A. M., & Hopkins, W. G. (2006). Making meaningful inferences about magnitudes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(1), 50–57.
- Behrens, M. J., & Simonson, S. R. (2011). A comparison of the various methods used to enhance sprint speed. *Strength and Conditioning Journal*, 33(2), 64–71.
- Bentley, I., Sinclair, J. K., Atkins, S. J., Metcalfe, J., & Edmundson, C. J. (2018). Effect of velocity-based loading on acceleration kinetics and kinematics during sled towing. *Journal of Strength and Conditioning Research*. [Epub ahead of print].
- Benz, A., Winkelmann, N., Porter, J., & Nimphius, S. (2016). Coaching Instructions and Cues for Enhancing Sprint Performance. *Strength and Conditioning Journal*, 38(1), 1–11.
- Booth, M. A., & Orr, R. (2016). Effects of plyometric training on sports performance. *Strength and Conditioning Journal*, 38(1), 30–37.
- Brady, C. J., Harrison, A. J., Flanagan, E. P., Haff, G. G., & Comyns, T. M. (2020). The relationship between isometric strength and sprint acceleration in sprinters. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(1), 38–45.
- Brazier, J., Maloney, S., Bishop, C., Read, P. J., & Turner, A. N. (2019). Lower extremity stiffness: considerations for testing, performance enhancement, and injury risk. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(4), 1156–1166.
- Buchheit, M., Simpson, B. M., Peltola, E., & Mendez-Villanueva, A. (2012). Assessing maximal sprinting speed in highly trained young soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(1), 76–78.

- Butler, R. J., Crowell, H. P., & Davis, I. M. (2003). Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. *Clinical Biomechanics*, 18(6), 511–517.
- Cahill, M. J., Oliver, J. L., Cronin, J. B., Clark, K. P., Cross, M. R., & Lloyd, R. S. (2020). Influence of resisted sled-push training on the sprint force-velocity profile of male high school athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 30(3), 442–449.
- Cahill, N., Lamb, K., Worsfold, P., Headey, R., & Murray, S. (2013). The movement characteristics of English Premiership rugby union players. *Journal of Sports Sciences*, 31(3), 229–237.
- Carlos-Vivas, J., Freitas, T. T., Cuesta, M., Perez-Gomez, J., De Hoyo, M., & Alcaraz, P. E. (2019). New tool to control and monitor weighted vest training load for sprinting and jumping in soccer. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(11), 3030-3038.
- Chiwaridzo, M., Ferguson, G. D., & Smits-Engelsman, B. C. M. (2016). A systematic review protocol investigating tests for physical or physiological qualities and game-specific skills commonly used in rugby and related sports and their psychometric properties. *Systematic Reviews*, 5(1), 122.
- Chiwaridzo, M., Oorschot, S., Dambi, J. M., Ferguson, G. D., Bonney, E., Mudawarima, T., Tadyanemhandu, C., & Smits-Engelsman, B. C. M. (2017). A systematic review investigating measurement properties of physiological tests in rugby. *BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation*, 9(1), 24.
- Clark, K. P., Rieger, R. H., Bruno, R. F., & Stearne, D. J. (2019). The National Football League combine 40-yd dash: How important is maximum velocity? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(6), 1542–1550.
- Clark, K. P., & Weyand, P. G. (2014). Are running speeds maximized with simple-spring stance mechanics? *Journal of Applied Physiology*, 117(6), 604–615.
- Coh, M., Milanović, D., & Kampmiller, T. (2001). Morphologic and kinematic characteristics of elite sprinters. *Collegium Antropologicum*, 25(2), 605–610.
- Cohen, J., Cohen, P., West, S. G., & Aiken, L. S. (2013). *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences*. Routledge.

- Comfort, P., Haigh, A., & Matthews, M. J. (2012). Are changes in maximal squat strength during preseason training reflected in changes in sprint performance in rugby league players? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(3), 772–776.
- Comfort, P., Stewart, A., Bloom, L., & Clarkson, B. (2014). Relationships between strength, sprint, and jump performance in well-trained youth soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(1), 173–177.
- Cormie, P., Mccauley, G. O., Triplett, N. T., & McBride, J. M. (2007). Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(2), 340–349.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010). Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(8), 1582–1598.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power: Part 2 training considerations for improving maximal power production. *Sports Medicine*, 41(2), 125–146.
- Cronin, J. B., & Hansen, K. (2005). Strength and power predictors of sport speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 349–357.
- Cronin, J. B., Hansen, K., Kawamori, N., & McNair, P. (2008). Effects of weighted vests and sled towing on sprint kinematics. *Sports Biomechanics*, 7(2), 160–172.
- Cross, M. R., Brughelli, M., Brown, S. R., Samozino, P., Gill, N. D., Cronin, J. B., & Morin, J. B. (2015). Mechanical properties of sprinting in elite rugby union and rugby league. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(6), 695–702.
- Cross, M. R., Samozino, P., Brown, S. R., & Morin, J. B. (2018). A comparison between the force–velocity relationships of unloaded and sled-resisted sprinting: single vs. multiple trial methods. *European Journal of Applied Physiology*, 118(3), 563–571.
- Cunningham, D. J., West, D. J., Owen, N. J., Shearer, D. A., Finn, C. V., Bracken, R. M., Crewther, B. T., Scott, P., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2013). Strength and power predictors of sprinting performance in professional rugby players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 53(2), 105–111.

- Da Cruz-Ferreira, A. M., & Ribeiro, C. A. F. (2013). Anthropometric and physiological profile of Portuguese rugby players - Part I: Comparison between athletes with different competitive levels. *Revista Brasileira de Medicina Do Esporte*, 19(1), 48–51.
- Darrall-Jones, J. D., Jones, B., & Till, K. (2015). Anthropometric and physical profiles of English academy rugby union players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(8), 2086–2096.
- Darrall-Jones, J. D., Jones, B., & Till, K. (2016). Anthropometric, sprint, and high-intensity running profiles of English academy rugby union players by position. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(5), 1348–1358.
- de Lacey, J., Brughelli, M. E., McGuigan, M. R., & Hansen, K. T. (2014). Strength, speed and power characteristics of elite rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(8), 2372–2375.
- den Hollander, S., Brown, J., Lambert, M., Treu, P., & Hendricks, S. (2016). Skills associated with line breaks in elite rugby union. *Journal of Sports Science and Medicine*, 15(3), 501–508.
- Douglas, J., Pearson, S., Ross, A., & McGuigan, M. (2018). Kinetic determinants of reactive strength in highly trained sprint athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(6), 1562–1570.
- Douglas, J., Pearson, S., Ross, A., & McGuigan, M. (2020). Reactive and eccentric strength contribute to stiffness regulation during maximum velocity sprinting in team sport athletes and highly trained sprinters. *Journal of Sports Sciences*, 38(1), 29–37.
- Duthie, G. M. (2006). A framework for the physical development of elite rugby union players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(1), 2–13.
- Duthie, G. M., Pyne, D. B., Marsh, D. J., & Hooper, S. L. (2006). Sprint patterns in rugby union players during competition. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(1), 208–214.
- Duthie, G., Pyne, D., & Hooper, S. (2003). Applied physiology and game analysis of rugby union. *Sports Medicine*, 33(13), 973–991.
- Edouard, P., Mendiguchia, J., Lahti, J., Arnal, P. J., Gimenez, P., Jiménez-Reyes, P., Brughelli, M., Samozino, P., & Morin, J. B. (2018). Sprint acceleration mechanics in fatigue

- conditions: Compensatory role of gluteal muscles in horizontal force production and potential protection of hamstring muscles. *Frontiers in Physiology*, 9, 1706.
- Emmonds, S., Till, K., Jones, B., Mellis, M., & Pears, M. (2016). Anthropometric, speed and endurance characteristics of English academy soccer players: Do they influence obtaining a professional contract at 18 years of age? *International Journal of Sports Science & Coaching*, 11(2), 212–218.
- Escobar Álvarez, J. A., Fuentes García, J. P., Da Conceição, F. A., & Jiménez-Reyes, P. (2019). Individualized training based on force–velocity profiling during jumping in ballet dancers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. [Epub ahead of print].
- Fontana, F. Y., Colosio, A., De Roia, G. F., Da Lozzo, G., & Pogliaghi, S. (2015). Anthropometrics of Italian senior male rugby union players: from elite to second division. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(6), 674–680.
- Fontana, F. Y., Colosio, A. L., Da Lozzo, G., & Pogliaghi, S. (2017). Player's success prediction in rugby union: From youth performance to senior level placing. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(4), 409–414.
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P., & Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15, 109–115.
- Franco-Márquez, F., Rodríguez-Rosell, D., González-Suárez, J., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., Yañez-García, J., & González-Badillo, J. J. (2015). Effects of combined resistance training and plyometrics on physical performance in young soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 36(11), 906–914.
- Furlong, L. A. M., Harrison, A. J., & Jensen, R. L. (2019). Measures of strength and jump performance can predict 30-m sprint time in rugby union players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. [Epub ahead of print].
- Gabbett, T J. (2002). Physiological characteristics of junior and senior rugby league players. *British Journal of Sports Medicine*, 36(5), 334–339.

- Gabbett, T. J. (2006). A comparison of physiological and anthropometric characteristics among playing positions in sub-elite rugby league players. *Journal of Sports Sciences*, 24(12), 1273–1280.
- Gabbett, T. J. (2012). Sprinting patterns of National Rugby League competition. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(1), 121–130.
- García-Ramos, A., Feriche, B., Pérez-Castilla, A., Padial, P., & Jaric, S. (2017). Assessment of leg muscles mechanical capacities: Which jump, loading, and variable type provide the most reliable outcomes? *European Journal of Sport Science*, 17(6), 690–698.
- Giroux, C., Rabita, G., Chollet, D., & Guilhem, G. (2014). What is the best method for assessing lower limb force-velocity relationship? *International Journal of Sports Medicine*, 36(02), 143–149.
- Giroux, C., Guilhem, G., Couturier, A., Chollet, D., & Rabita, G. (2015). Is muscle coordination affected by loading condition in ballistic movements? *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 25(1), 69–76.
- Giroux, C., Rabita, G., Chollet, D., & Guilhem, G. (2016). Optimal balance between force and velocity differs among world-class athletes. *Journal of Applied Biomechanics*, 32(1), 59–68.
- González-Badillo, J. J., Sánchez-Medina, L., & Pablo, M. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International Journal of Sports Medicine*, 31(5), 347–352.
- Green, B. S., Blake, C., & Caulfield, B. M. (2011). A valid field test protocol of linear speed and agility in rugby union. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(5), 1256–1262.
- Guiraudou, M., Maimoun, L., Dumas, J.-M., Julia, M., Raingeard, I., & Brun, J.-F. (2015). Composition corporelle mesurée par impédancemétrie segmentaire (BIAS) et performance de sprint chez les rugbymen. *Science & Sports*, 30(5), 298–302.
- Hansen, K. T., Cronin, J. B., Pickering, S. L., & Douglas, L. (2011). Do force–time and power–time measures in a loaded jump squat differentiate between speed performance and playing level in elite and elite junior rugby union players? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(9), 2382–2391.

- Hansen, K. T., Cronin, J. B., Pickering, S. L., & Newton, M. J. (2011). Does cluster loading enhance lower body power development in preseason preparation of elite rugby union players? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(8), 2118–2126.
- Harries, S. K., Lubans, D. R., Buxton, A., MacDougall, T. H. J., & Callister, R. (2017). Effects of 12-weeks resistance training on sprint and jump performance in competitive adolescent rugby union players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(10), 2762–2769.
- Harries, S. K., Lubans, D. R., & Callister, R. (2016). Comparison of resistance training progression models on maximal strength in sub-elite adolescent rugby union players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(2), 163–169.
- Harrison, A. J., & Bourke, G. (2009). The effect of resisted sprint training on speed and strength performance in male rugby players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 275–283.
- Hartwig, T. B., Naughton, G., & Searl, J. (2011). Motion analyses of adolescent rugby union players: a comparison of training and game demands. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(4), 966–972.
- Haugen, T., McGhie, D., & Ettema, G. (2019). Sprint running: from fundamental mechanics to practice—a review. *European Journal of Applied Physiology*, 119(6), 1273–1287.
- Haugen, T., Tønnessen, E., Hisdal, J., & Seiler, S. (2014). The role and development of sprinting speed in soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 432–441.
- Healy, R., Norris, M., Kenny, I. C., & Harrison, A. J. (2016). A novel protocol to measure short sprint performance. *Procedia Engineering*, 147, 706–711.
- Hegyi, A., Gonçalves, B. A. M., Finni, T., & Cronin, N. J. (2019). Individual region- and muscle-specific hamstring activity at different running speeds. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 51(11), 2274–2285.
- Hervéou, T., Rahmani, A., Chorin, F., Frère, J., Ripamonti, M., & Durand, S. (2018). Force-velocity muscular profiles and jumping performances of soccer goalkeeper. *Science & Sports*, 33(5), 307–313.

- Higashihara, A., Nagano, Y., Ono, T., & Fukubayashi, T. (2015). Differences in activation properties of the hamstring muscles during overground sprinting. *Gait & Posture*, 42(3), 360–364.
- Higashihara, A., Nagano, Y., Ono, T., & Fukubayashi, T. (2018). Differences in hamstring activation characteristics between the acceleration and maximum-speed phases of sprinting. *Journal of Sports Sciences*, 36(12), 1313–1318.
- Higashihara, A., Nagano, Y., Takahashi, K., & Fukubayashi, T. (2015). Effects of forward trunk lean on hamstring muscle kinematics during sprinting. *Journal of Sports Sciences*, 33(13), 1366–1375.
- Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine*, 30(1), 1–15.
- Hopkins, W. G. (2006). Spreadsheets for analysis of controlled trials, with adjustment for a subject characteristic. *Sportscience*, 10, 46–50.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3–13.
- Howard, R. M., Conway, R., & Harrison, A. J. (2018). Muscle activity in sprinting: a review. *Sports Biomechanics*, 17(1), 1–17.
- Howard, S. M. A., Cumming, S. P., Atkinson, M., & Malina, R. M. (2016). Biological maturity-associated variance in peak power output and momentum in academy rugby union players. *European Journal of Sport Science*, 16(8), 972–980.
- Ishøi, L., Aagaard, P., Nielsen, M. F., Thornton, K. B., Krommes, K. K., Hölmich, P., & Thorborg, K. (2019). The influence of hamstring muscle peak torque and rate of torque development for sprinting performance in football players: a cross-sectional study. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(5), 665–673.
- Jalilvand, F., Banoocy, N. K., Rumpf, M. C., & Lockie, R. G. (2019). Relationship between body mass, peak power, and power-to-body mass ratio on sprint velocity and momentum in high-school football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(7), 1871–1877.

- Janicijevic, D., Knezevic, O. M., Mirkov, D. M., Pérez-Castilla, A., Petrovic, M., Samozino, P., & Garcia-Ramos, A. (2019). Assessment of the force-velocity relationship during vertical jumps: influence of the starting position, analysis procedures and number of loads. *European Journal of Sport Science*. [Epub ahead of print].
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Brughelli, M., & Morin, J.-B. (2017). Effectiveness of an individualized training based on force-velocity profiling during jumping. *Frontiers in Physiology*, 7, 677.
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., García-Ramos, A., Cuadrado-Peñafiel, V., Brughelli, M., & Morin, J.-B. (2018). Relationship between vertical and horizontal force-velocity-power profiles in various sports and levels of practice. *PeerJ*, 6, e5937.
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., & Morin, J. B. (2019). Optimized training for jumping performance using the force-velocity imbalance: Individual adaptation kinetics. *PLoS ONE*, 14(5), e0216681.
- Jones, B., Weaving, D., Tee, J., Darrall-Jones, J., Weakley, J., Phibbs, P., Read, D., Roe, G., Hendricks, S., & Till, K. (2018). Bigger, stronger, faster, fitter: the differences in physical qualities of school and academy rugby union players. *Journal of Sports Sciences*, 36(21), 2399–2404.
- Jones, M. R., West, D. J., Crewther, B. T., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2015). Quantifying positional and temporal movement patterns in professional rugby union using global positioning system. *European Journal of Sport Science*, 15(6), 488–496.
- Kawamori, N., Newton, R., & Nosaka, K. (2014). Effects of weighted sled towing on ground reaction force during the acceleration phase of sprint running. *Journal of Sports Sciences*, 32(12), 1139–1145.
- Kawamori, N., Newton, R. U., Hori, N., & Nosaka, K. (2014). Effects of weighted sled towing with heavy versus light load on sprint acceleration ability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(10), 2738–2745.
- Kearney, P. E. (2017). Playing position influences the relative age effect in senior rugby union. *Science & Sports*, 32(2), 114–116.
- Kraemer, W. J., & Newton, R. U. (2000). Training for muscular power. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 11(2), 341–368, vii.

- Kuitunen, S., Komi, P. V., & Kyröläinen, H. (2002). Knee and ankle joint stiffness in sprint running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(1), 166–173.
- Kyröläinen, H., Avela, J., & Komi, P. V. (2005). Changes in muscle activity with increasing running speed. *Journal of Sports Sciences*, 23(10), 1101–1109.
- La Monica, M. B., Fukuda, D. H., Miramonti, A. A., Beyer, K. S., Hoffman, M. W., Boone, C. H., Tanigawa, S., Wang, R., Church, D. D., Stout, J. R., & Hoffman, J. R. (2016). Physical differences between forwards and backs in American collegiate rugby players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(9), 2382–2391.
- Lindsay, A., Draper, N., Lewis, J., Gieseg, S. P., & Gill, N. (2015). Positional demands of professional rugby. *European Journal of Sport Science*, 15(6), 480–487.
- Linthorne, N. P., & Cooper, J. E. (2013). Effect of the coefficient of friction of a running surface on sprint time in a sled-towing exercise. *Sports Biomechanics*, 12(2), 175–185.
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., Schultz, A. B., Knight, T. J., & de Jonge, X. A. K. (2012). The effects of different speed training protocols on sprint acceleration kinematics and muscle strength and power in field sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(6), 1539–1550.
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., & Spinks, C. D. (2003). Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field-sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 760–767.
- Lorimer, A. V., Keogh, J. W. L., & Hume, P. A. (2018). Using stiffness to assess injury risk: comparison of methods for quantifying stiffness and their reliability in triathletes. *PeerJ*, 6, e5845.
- Loturco, I., Contreras, B., Kobal, R., Fernandes, V., Moura, N., Siqueira, F., Winckler, C., Suchomel, T., & Pereira, L. A. (2018). Vertically and horizontally directed muscle power exercises: Relationships with top-level sprint performance. *PLoS ONE*, 13(7), e0201475.
- Loturco, I., D'Angelo, R. A., Fernandes, V., Gil, S., Kobal, R., Cal Abad, C. C., Kitamura, K., & Nakamura, F. Y. (2015). Relationship between sprint ability and loaded/unloaded jump tests in elite sprinters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(3), 758–764.

- Loturco, I., Kobal, R., Kitamura, K., Fernandes, V., Moura, N., Siqueira, F., Cal Abad, C. C., & Pereira, L. A. (2017). Predictive factors of elite sprint performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(4), 974-986.
- Loturco, I., Pereira, L. A., Cal Abad, C. C., D'Angelo, R. A., Fernandes, V., Kitamura, K., Kobal, R., & Nakamura, F. Y. (2015). Vertical and horizontal jump tests are strongly associated with competitive performance in 100-m dash events. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 1966–1971.
- Loturco, I., Pereira, L. A., Moraes, J. E., Kitamura, K., Abad, C. C., Kobal, R., & Nakamura, F. Y. (2017). Jump-squat and half-squat exercises: Selective influences on speed-power performance of elite rugby sevens players. *PLoS ONE*, 12(1), e0170627.
- Malone, S., Hughes, B., Doran, D. A., Collins, K., & Gabbett, T. J. (2018). Can the workload–injury relationship be moderated by improved strength, speed and repeated-sprint qualities? *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(1), 29-34.
- Marcote-Pequeño, R., García-Ramos, A., Cuadrado-Peñafiel, V., González-Hernández, J. M., Gómez, M. A., & Jiménez-Reyes, P. (2019). Association between the force–velocity profile and performance variables obtained in jumping and sprinting in elite female soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(2), 209-215.
- Markovic, G., Jukic, I., Milanovic, D., & Metikos, D. (2007). Effects of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 543–549.
- Martínez-Valencia, M. A., González-Ravé, J. M., Santos-García, D. J., Alcaraz, P. E., & Navarro-Valdivielso, F. (2014). Interrelationships between different loads in resisted sprints, half-squat 1 RM and kinematic variables in trained athletes. *European Journal of Sport Science*, 14(SUPPL.1), 37–41.
- Martínez-Valencia, M. A., Romero-Arenas, S., Elvira, J. L. L., González-Ravé, J. M., Navarro-Valdivielso, F., & Alcaraz, P. E. (2015). Effects of sled towing on peak force, the rate of force development and sprint performance during the acceleration phase. *Journal of Human Kinetics*, 46(1), 139–148.
- Maulder, P. S., Bradshaw, E. J., & Keogh, J. W. (2008). Kinematic alterations due to different loading schemes in early acceleration sprint performance from starting blocks. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(6), 1992–2002.

- McBride, J. M., Blow, D., Kirby, T. J., Haines, T. L., Dayne, A. M., & Triplett, N. T. (2009). Relationship between maximal squat strength and five, ten, and forty-yard sprint times. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(6), 1633–1636.
- McFarland, I., Dawes, J. J., Elder, C., & Lockie, R. (2016). Relationship of two vertical jumping tests to sprint and change of direction speed among male and female collegiate soccer players. *Sports*, 4(1), 11.
- McMahon, T. A., Valiant, G., & Frederick, E. C. (1987). Groucho running. *Journal of Applied Physiology*, 62(6), 2326–2337.
- McMaster, D., Gill, N., McGuigan, M., & Cronin, J. B. (2014). Effects of complex strength and ballistic training on maximum strength, sprint ability and force-velocity-power profiles of semi-professional rugby union players. *Journal of Australian Strength & Conditioning*, 22(1), 17–30.
- McMaster, D. T., Gill, N., Cronin, J. B., & McGuigan, M. (2013). The development, retention and decay rates of strength and power in elite rugby union, rugby league and American football: a systematic review. *Sports Medicine*, 43(5), 367–384.
- McMorrow, B. J., Ditroilo, M., & Egan, B. (2019). Effect of heavy resisted sled sprint training during the competitive season on sprint and change-of-direction performance in professional soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(8), 1066–1073.
- Mendez-Villanueva, A., Buchheit, M., Kuitunen, S., Douglas, A., Peltola, E., & Bourdon, P. (2011). Age-related differences in acceleration, maximum running speed, and repeated-sprint performance in young soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 29(5), 477–484.
- Meyers, R. W., Oliver, J. L., Hughes, M. G., Cronin, J. B., & Lloyd, R. S. (2015). Maximal sprint speed in boys of increasing maturity. *Pediatric Exercise Science*, 27(1), 85–94.
- Meyers, R. W., Oliver, J. L., Hughes, M. G., Lloyd, R. S., & Cronin, J. B. (2017). Influence of age, maturity, and body size on the spatiotemporal determinants of maximal sprint speed in boys. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(4), 1009–1016.
- Monte, A., Muollo, V., Nardello, F., & Zamparo, P. (2017). Sprint running: how changes in step frequency affect running mechanics and leg spring behaviour at maximal speed. *Journal of Sports Sciences*, 35(4), 339–345.

- Monte, A., Nardello, F., & Zamparo, P. (2017). Sled towing: the optimal overload for peak power production. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(8), 1052–1058.
- Mora-Custodio, R., Rodríguez-Rosell, D., Pareja-Blanco, F., Yáñez-García, J., & González-Badillo, J. J. (2016). Effect of low- vs moderate-load squat training on strength, jump and sprint performance in physically active women. *International Journal of Sports Medicine*, 37(06), 476–482.
- Morin, J.-B., & Samozino, P. (2016). Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(2), 267–272.
- Morin, J. B., Samozino, P., Zameziati, K., & Belli, A. (2007). Effects of altered stride frequency and contact time on leg-spring behaviour in human running. *Journal of Biomechanics*, 40(15), 3341–3348.
- Morin, J. B., Bourdin, M., Edouard, P., Peyrot, N., Samozino, P., & Lacour, J.-R. (2012). Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *European Journal of Applied Physiology*, 112(11), 3921–3930.
- Morin, J. B., Capelo-Ramirez, F., Rodriguez-Pérez, M. A., Cross, M. R., & Jimenez-Reyes, P. (2020). Individual adaptation kinetics following heavy resisted sprint training. *Journal of Strength and Conditioning Research*. [Epub ahead of print].
- Morin, J. B., Edouard, P., & Samozino, P. (2011). Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(9), 1680–1688.
- Morin, J. B., Gimenez, P., Edouard, P., Arnal, P., Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Brughelli, M., & Mendiguchia, J. (2015). Sprint acceleration mechanics: The major role of hamstrings in horizontal force production. *Frontiers in Physiology*, 6, 404.
- Morin, J. B., Petrakos, G., Jiménez-Reyes, P., Brown, S. R., Samozino, P., & Cross, M. R. (2017). Very-heavy sled training for improving horizontal-force output in soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(6), 840–844.
- Morin, J. B., Dalleau, G., Kyröläinen, H., Jeannin, T., & Belli, A. (2005). A simple method for measuring stiffness during running. *Journal of Applied Biomechanics*, 21(2), 167–180.

- Morris, C. G., Weber, J. A., & Netto, K. J. (2020). Relationship between mechanical effectiveness in sprint running and force-velocity characteristics of a countermovement jump in Australian Rules Football athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. [Epub ahead of print].
- Murray, A., Aitchison, T., Ross, G., Sutherland, K., Watt, I., McLean, D., & Grant, S. (2005). The effect of towing a range of relative resistances on sprint performance. *Journal of Sports Sciences*, 23(9), 927–935.
- Nagahara, R., & Zushi, K. (2017). Development of maximal speed sprinting performance with changes in vertical, leg and joint stiffness. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 57(12), 1572–1578.
- Nagayama, C., Muto, K., Iwami, M., Ishihara, M., & Tobina, T. (2019). Summer training camp decrease food intake in adolescent rugby football players. *Science & Sports*, 34(2), e109–e117.
- Nakamura, F. Y., Pereira, L. A., Moraes, J. E., Kobal, R., Kitamura, K., Cal Abad, C. C., Teixeira Vaz, L. M., & Loturco, I. (2017). Physical and physiological differences of backs and forwards from the Brazilian National rugby union team. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 57(12), 1549–1556.
- Nicholas, C. W. (1997). Anthropometric and physiological characteristics of rugby union football players. *Sports Medicine*, 23(6), 375–396.
- Nygaard Falch, H., Guldteig Rædergård, H., & Van den Tillaar, R. (2020). Relationship of performance measures and muscle activity between a 180° change of direction task and different countermovement jumps. *Sports*, 8(4), 47.
- Padua, D. A., Arnold, B. L., Perrin, D. H., Gansneder, B. M., Carcia, C. R., & Granata, K. P. (2006). Fatigue, vertical leg stiffness, and stiffness control strategies in males and females. *Journal of Athletic Training*, 41(3), 294–304.
- Paradisis, G. P., Bissas, A., Pappas, P., Zacharogiannis, E., Theodorou, A., & Girard, O. (2019). Sprint mechanical differences at maximal running speed: Effects of performance level. *Journal of Sports Sciences*, 37(17), 2026–2036.

- Pareja-Blanco, F., Asián-Clemente, J. A., & Sáez de Villarreal, E. (2019). Combined squat and light-load resisted sprint training for improving athletic performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*. [Epub ahead of print].
- Pareja-Banco, F., Pereira, L. A., Freitas, T., Alcaraz, P. E., Reis, V. P., Guerriero, A., Arruda, A. F. S., Zabaloy, S., Sáez De Villarreal, E., & Loturco, I. (2020). Acute effects of progressive sled loading on resisted sprint performance and kinematics. *Journal of Strength and Conditioning Research*. [Epub ahead of print].
- Petrakos, G., Morin, J.-B., & Egan, B. (2016). Resisted sled sprint training to improve sprint performance: A systematic review. *Sports Medicine*, 46(3), 381–400.
- Pienaar, C., & Coetzee, B. (2013). Changes in selected physical, motor performance and anthropometric components of university-level rugby players after one microcycle of a combined rugby conditioning and plyometric training program. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(2), 398–415.
- Quarrie, K. L., Hopkins, W. G., Anthony, M. J., & Gill, N. (2013). Positional demands of international rugby union: evaluation of player actions and movements. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(4), 353–359.
- Quarrie, K. L., Raftery, M., Blackie, J., Cook, C. J., Fuller, C. W., Gabbett, T. J., Gray, A. J., Gill, N., Hennessy, L., Kemp, S., Lambert, M., Nichol, R., Mellalieu, S. D., Piscione, J., Stadelmann, J., & Tucker, R. (2017). Managing player load in professional rugby union: a review of current knowledge and practices. *British Journal of Sports Medicine*, 51(5), 421–427.
- Rakovic, E., Paulsen, G., Helland, C., Eriksrud, O., & Haugen, T. (2018). The effect of individualised sprint training in elite female team sport athletes: A pilot study. *Journal of Sports Sciences*, 36(24), 2802–2808.
- Read, D. B., Jones, B., Phibbs, P. J., Roe, G. A., Darrall-Jones, J. D., Weakley, J. J. S., & Till, K. (2017). Physical demands of representative match-play in adolescent rugby union. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(5), 1290–1296.
- Reardon, C., Tobin, D. P., & Delahunt, E. (2015). Application of individualized speed thresholds to interpret position specific running demands in elite professional rugby union: a gps study. *PloS One*, 10(7), e0133410.

- Reilly, T., Morris, T., & Whyte, G. (2009). The specificity of training prescription and physiological assessment: A review. *Journal of Sports Sciences*, 27(6), 575–589.
- Roberts, S. P., Trewartha, G., Higgitt, R. J., El-Abd, J., & Stokes, K. A. (2008). The physical demands of elite English rugby union. *Journal of Sports Sciences*, 26(8), 825–833.
- Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2012). High volume of endurance training impairs adaptations to 12 weeks of strength training in well-trained endurance athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 112(4), 1457–1466.
- Ross, A., Leveritt, M., & Riek, S. (2001). Neural influences on sprint running. *Sports Medicine*, 31(6), 409–425.
- Rumpf, M. C., Lockie, R. G., Cronin, J. B., & Jalilvand, F. (2016). Effect of different sprint training methods on sprint performance over various distances: a brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(6), 1767–1785.
- Sáez de Villarreal, E., Suarez-Arrones, L., Requena, B., Haff, G. G., & Ferrete, C. (2015). Effects of plyometric and sprint training on physical and technical skill performance in adolescent soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 1894–1903.
- Samozino, P., Edouard, P., Sangnier, S., Brughelli, M., Gimenez, P., & Morin, J.-B. (2013). Force-velocity profile: imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance. *International Journal of Sports Medicine*, 35(06), 505–510.
- Samozino, P., Morin, J.-B., Hintzy, F., & Belli, A. (2010). Jumping ability: A theoretical integrative approach. *Journal of Theoretical Biology*, 264(1), 11–18.
- Samozino, P., Morin, J.-B., Hintzy, F., & Belli, A. (2008). A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *Journal of Biomechanics*, 41(14), 2940–2945.
- Samozino, P., Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Peyrot, N., Saez de Villarreal, E., & Morin, J.-B. (2016). A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 26(6), 648–658.

- Samozino, P., Rejc, E., Di Prampero, P. E., Belli, A., & Morin, J.-B. (2012). Optimal force-velocity profile in ballistic movements--altius: citius or fortius? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(2), 313–322.
- Samozino, P., Rejc, E., Di Prampero, P. E., Belli, A., & Morin, J.-B. (2014). Force-velocity properties' contribution to bilateral deficit during ballistic push-off. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(1), 107–114.
- Sánchez-Medina, L., Pallarés, J., Pérez, C., Morán-Navarro, R., & González-Badillo, J. J. (2017). Estimation of relative load from bar velocity in the full back squat exercise. *Sports Medicine International Open*, 01(02), E80–E88.
- Seitz, L. B., Reyes, A., Tran, T. T., Saez de Villarreal, E., & Haff, G. G. (2014). Increases in lower-body strength transfer positively to sprint performance: a systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine*, 44(12), 1693–1702.
- Seitz, L. B., Trajano, G. S., & Haff, G. G. (2014). The back squat and the power clean: elicitation of different degrees of potentiation. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(4), 643–649.
- Simperingham, K. D., Cronin, J. B., & Ross, A. (2016). Advances in sprint acceleration profiling for field-based team-sport athletes: utility, reliability, validity and limitations. *Sports Medicine*, 46(11), 1619–1645.
- Sleivert, G., & Taingahue, M. (2004). The relationship between maximal jump-squat power and sprint acceleration in athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 91(1), 46–52.
- Smart, D., Hopkins, W. G., Quarrie, K. L., & Gill, N. (2014). The relationship between physical fitness and game behaviours in rugby union players. *European Journal of Sport Science*, 14(sup1), S8–S17.
- Spinks, C. D., Murphy, A. J., Spinks, W. L., & Lockie, R. G. (2007). The effects of resisted sprint training on acceleration performance and kinematics in soccer, rugby union, and Australian football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 77–85.
- Suarez-Arrones, L., Arenas, C., López, G., Requena, B., Terrill, O., & Méndez-Villanueva, A. (2014). Positional differences in match running performance and physical collisions in

- men rugby sevens. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(2), 316–323.
- Suárez-Arrones, L. J., Portillo, L. J., González-Ravé, J. M., Muñoz, V. E., & Sanchez, F. (2012). Match running performance in Spanish elite male rugby union using global positioning system. *Isokinetics and Exercise Science*, 20(2), 77–83.
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., & Stone, M. H. (2016). The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Medicine*, 46(10), 1419–1449.
- Takamori, S., Hamlin, M. J., Kieser, D. C., King, D., Hume, P., Yamazaki, T., Hachiya, M., & Olsen, P. D. (2020). Senior club-level rugby union player's positional movement performance using individualized velocity thresholds and accelerometer-derived impacts in matches. *Journal of Strength and Conditioning Research*. [Epub ahead of print].
- Talpey, S. W., Axtell, R., Gardner, E., & James, L. (2019). Changes in lower body muscular performance following a season of NCAA division I men's lacrosse. *Sports*, 7(1), 18.
- Tee, J. C., Coopoo, Y., & Lambert, M. (2019). Pacing characteristics of whole and part-game players in professional rugby union. *European Journal of Sport Science*. [Epub ahead of print].
- Till, K., Jones, B., Darrall-Jones, J. D., Emmonds, S., & Cooke, C. (2015). Longitudinal development of anthropometric and physical characteristics within academy rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(6), 1713–1722.
- Till, K., Scantlebury, S., & Jones, B. (2017). Anthropometric and physical qualities of elite male youth rugby league players. *Sports Medicine*, 47(11), 2171–2186.
- Tillin, N. A., Pain, M. T., & Folland, J. (2013). Explosive force production during isometric squats correlates with athletic performance in rugby union players. *Journal of Sports Sciences*, 31(1), 66–76.
- Turner, T. S., Tobin, D. P., & Delahunt, E. (2015). Peak power in the hexagonal barbell jump squat and its relationship to jump performance and acceleration in elite rugby union players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(5), 1234–1239.
- van den Tillaar, R. (2020). Comparison of step kinematics of active resisted 30 m sprints between experienced male and female sprinters. *Translational Sports Medicine*, 3(3), 271–277.

- van den Tillaar, R., Teixeira, A., & Marinho, D. (2018). Acute effect of resisted sprinting upon regular sprint performance. *Acta Kinesiologiae Universitatis Tartuensis*, 23, 19-33.
- Van Hooren, B., & Zolotarjova, J. (2017). The difference between countermovement and squat jump performances: a review of underlying mechanisms with practical applications. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(7), 2011–2020.
- Vaz, L., Vasilica, I., Carreras, D., Kraak, W., & Nakamura, F. Y. (2016). Physical fitness profiles of elite under-19 rugby union players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 56(4), 415–421.
- Vaz, L., Morais, T., Rocha, H., & James, N. (2014). Fitness profiles of elite Portuguese rugby union players. *Journal of Human Kinetics*, 41(1), 235-244.
- Vescovi, J. D., & McGuigan, M. R. (2008). Relationships between sprinting, agility, and jump ability in female athletes. *Journal of Sports Sciences*, 26(1), 97–107.
- Vikmoen, O., Rønnestad, B. R., Ellefsen, S., & Raastad, T. (2017). Heavy strength training improves running and cycling performance following prolonged submaximal work in well-trained female athletes. *Physiological Reports*, 5(5), e13149.
- Vivancos, A., Zambudio, A., Ramírez, F., Del Águila, A., Castrillón, F., & Pardo, P. (2014). OC14 Reliability and validity of a linear position transducer for strength assessment. *British Journal of Sports Medicine*, 48(Suppl 3), A5.2-A5.
- von Lieres und Wilkau, H. C., Irwin, G., Bezodis, N. E., Simpson, S., & Bezodis, I. N. (2018). Phase analysis in maximal sprinting: an investigation of step-to-step technical changes between the initial acceleration, transition and maximal velocity phases. *Sports Biomechanics*, 19(2), 141-156.
- Wang, R., Hoffman, J. R., Tanigawa, S., Miramonti, A. A., La Monica, M. B., Beyer, K. S., Church, D. D., Fukuda, D. H., & Stout, J. R. (2016). Isometric mid-thigh pull correlates with strength, sprint, and agility performance in collegiate rugby union players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(11), 3051–3056.
- West, D. J., Cunningham, D. J., Bracken, R. M., Bevan, H. R., Crewther, B. T., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2013). Effects of resisted sprint training on acceleration in professional rugby union players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(4), 1014–1018.

- Wheeler, K. W., & Sayers, M. G. (2009). Contact skills predicting tackle-breaks in rugby union. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 4(4), 535–544.
- Wild, J. J., Bezodis, I. N., North, J. S., & Bezodis, N. E. (2018). Differences in step characteristics and linear kinematics between rugby players and sprinters during initial sprint acceleration. *European Journal of Sport Science*, 18(10), 1327–1337.
- Wilson, G. J., Murphy, A. J., & Pryor, J. F. (1994). Musculotendinous stiffness: its relationship to eccentric, isometric, and concentric performance. *Journal of Applied Physiology*, 76(6), 2714–2719.
- Winwood, P. W., Posthumus, L. R., Cronin, J. B., & Keogh, J. W. L. (2016). The acute potentiating effects of heavy sled pulls on sprint performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(5), 1248–1254.
- Wisløff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., & Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 38(3), 285–288.
- Yamamoto, H., Takemura, M., Iguchi, J., Tachibana, M., Tsujita, J., & Hojo, T. (2020). In-match physical demands on elite Japanese rugby union players using a global positioning system. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 6(1), e000659.
- Young, W., Benton, D., Duthie, G., & Pryor, J. (2001). Resistance training for short sprints and maximum-speed sprints. *Strength and Conditioning Journal*, 23(2), 7–13.
- Young, W., Cormack, S., & Crichton, M. (2011). Which jump variables should be used to assess explosive leg muscle function? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(1), 51–57.
- Young, W., Russell, A., Burge, P., Clarke, A., Cormack, S., & Stewart, G. (2008). The use of sprint tests for assessment of speed qualities of elite Australian Rules footballers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(2), 199–206.
- Ziv, G., & Lidor, R. (2016). On-field performances of rugby union players—a review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(3), 881–892.

XVI. GLOSARIO DE ACRÓNIMOS



16 Glosario de Acrónimos

<i>ACRÓNIMO</i>	<i>SIGNIFICADO</i>
1RM	1 repetición máxima
1RM-SQ	1 repetición máxima en el ejercicio de Sentadilla (Squat)
1RM-BP	1 repetición máxima en el ejercicio de Press de Banca (Bench Press)
10% Vloss	Sprint con una carga del 10% de pérdida de velocidad
30% Vloss	Sprint con una carga del 30% de pérdida de velocidad
50% Vloss	Sprint con una carga del 50% de pérdida de velocidad
<i>LETRA A</i>	
ANOVA	Modelo estadístico de Análisis de la Varianza
<i>LETRA B</i>	
BF	Delanteros restantes (puesto específico en delanteros -back five-)
BFlh	Bíceps femoral (de cabeza larga -long head-)
BP	Ejercicio de Press de Banca (bench press)
BP/PC	1RM en Press de banca relativo al peso corporal
<i>LETRA C</i>	
CMJ	Salto con contra-movimiento
CT	Tiempo de contacto con el suelo (contact time)
COD	Cambio de dirección (change of direction)
CV	Coefficiente de variación
CoM	Centro de masas
<i>LETRA E</i>	
EMG	Electromiografía
ES	Tamaño del efecto (effect size)
<i>LETRA F</i>	
Fv	Fuerza-velocidad
Fvimb	Desequilibrio del perfil Fv (Fv imbalance)
Fimb	Desequilibrio de fuerza en el perfil Fv
F0	Fuerza teórica máxima
FR	Primera línea (puesto específico de los delanteros -front row-)
FT	Tiempo de vuelo (flight time)
<i>LETRA G</i>	

GAS	Gastrocnemio
GM	Glúteo medio
Gmáx	Glúteo mayor
GRF	Fuerzas de reacción del suelo
LETRA I	
IB	Backs internos (puesto específico de los backs)
ICC	Coeficiente de correlación intraclase
ISQT	Test de sentadilla isométrica
ISQT_{rel}	Test de sentadilla isométrica relativa al peso corporal
LETRA J	
JH	Altura del salto (jump height)
LETRA K	
K_{leg}	Stiffness de miembro inferior
LETRA L	
L10%	Carga necesaria para alcanzar un 10% de pérdida de velocidad
L30%	Carga necesaria para alcanzar un 30% de pérdida de velocidad
L50%	Carga necesaria para alcanzar un 50% de pérdida de velocidad
LETRA M	
MR	Método resistido de entrenamiento de la velocidad
MT	Método tradicional de entrenamiento de la velocidad (sin carga)
LETRA N	
NI	Grupo ‘no individualizado’
LETRA O	
OB	Backs externos (puesto específico de los backs –outside backs-)
LETRA P	
PC	Peso corporal (kg)
Perfil Fv	Perfil de fuerza-velocidad
PHV-PCA	Pico de crecimiento en altura (peak height velocity)
Pmáx	Potencia máxima
LETRA R	
Ratio CMJ/SJ	Ratio entre CMJ y SJ
RF	Recto femoral

RFD	Tasa de desarrollo de fuerza en la unidad de tiempo (rate of force development)
RPE	Percepción subjetiva del esfuerzo (rate of perceived exertion)
RST	Entrenamiento resistido con trineos de arrastre (resisted sled sprint training)
RT	Entrenamiento de fuerza (resistance training)

LETRA S

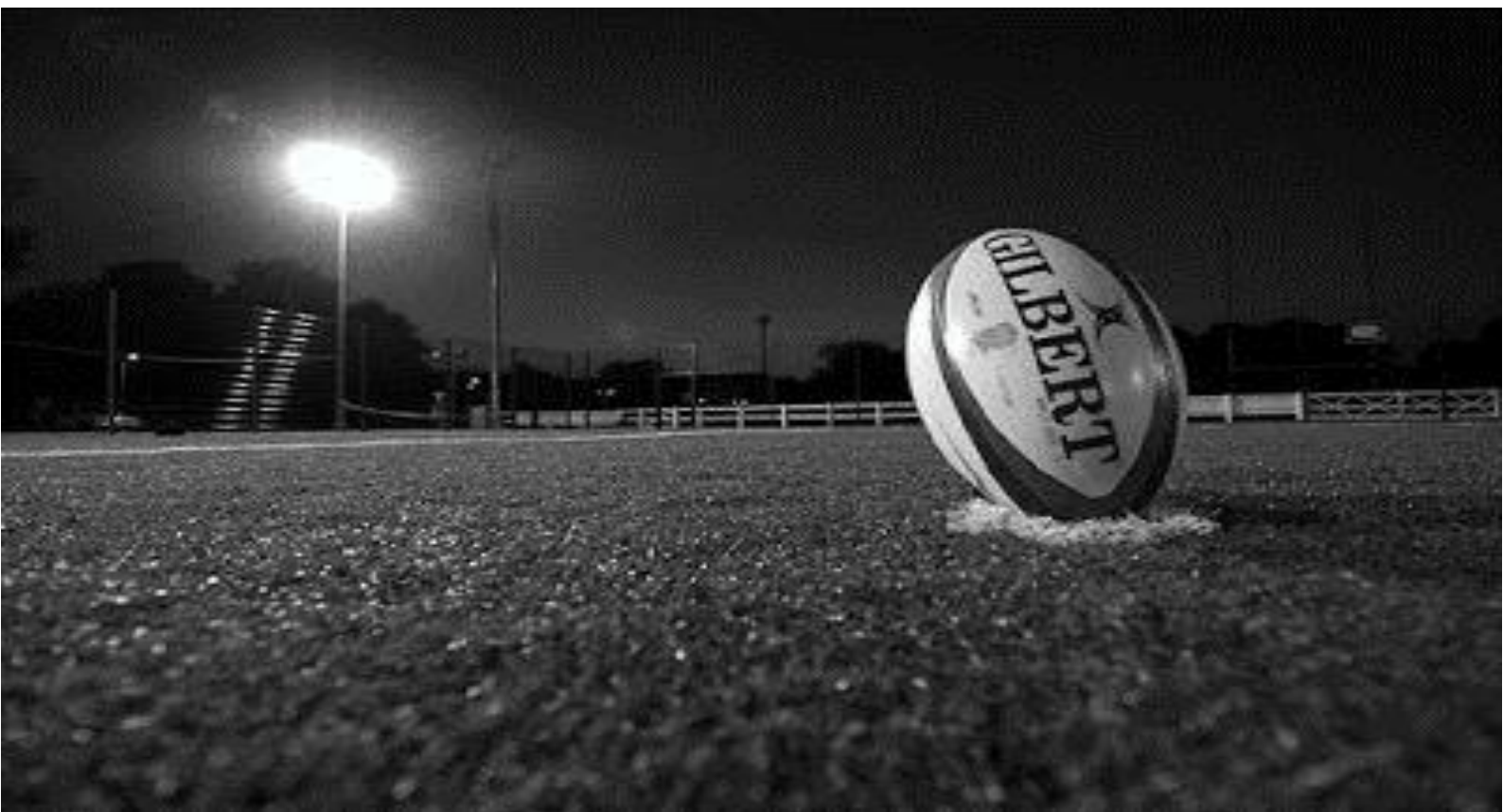
SF	Frecuencia de zancada (stride frequency)
SIST	Test de fuerza isométrica específico (specific isometric strength test)
SIST_{rel}	Test de fuerza isométrica específico (relativo al peso corporal)
SJ	Salto desde sentadilla sin contramovimiento (squat jump)
SJ20	Salto desde sentadilla sin contramovimiento con 20 kg
SJ30	Salto desde sentadilla sin contramovimiento con 30 kg
SJ40	Salto desde sentadilla sin contramovimiento con 40 kg
SJ50	Salto desde sentadilla sin contramovimiento con 50 kg
SM	Momento lineal (sprint momentum)
SQ	Sentadilla (Squat)
SQ/PC	1RM en Sentadilla relativo al peso corporal
SSC	Ciclo estiramiento-acortamiento (stretch-shortening cycle)

LETRA T

TA°	Ángulo de inclinación del tronco
T5	Tiempo de sprint en 5-m
T10	Tiempo de sprint en 10-m
T20	Tiempo de sprint en 20-m
T30	Tiempo de sprint en 30-m
T10-20m	Tiempo de sprint en el intervalo de 10-20m
T20-30m	Tiempo de sprint en el intervalo de 20-30m
T30-40m	Tiempo de sprint en el intervalo de 30-40m
T40-50m	Tiempo de sprint en el intervalo de 40-50m
T₃₀-20BM	Tiempo de sprint en 30-m con una carga del 20% PC
T₃₀-40BM	Tiempo de sprint en 30-m con una carga del 40% PC
T₃₀-60BM	Tiempo de sprint en 30-m con una carga del 60% PC

T_{30-80BM}	Tiempo de sprint en 30-m con una carga del 80% PC
<i>LETA U</i>	
U14	Categoría sub-14 (under-14)
U16	Categoría sub-16 (under-16)
U18	Categoría sub-18 (under-18)
<i>LETA V</i>	
V0	Velocidad máxima teórica
Vimb	Desequilibrio de velocidad en el perfil Fv (velocity imbalance)
Vloss	Pérdida de velocidad (velocity loss)
VL	Vasto lateral
V_{máx}	Velocidad máxima
VMS	Velocidad máxima de sprint
<i>LETRA W</i>	
WB	Bien equilibrado (well balanced)

XVII. RELACIÓN DE TABLAS Y FIGURAS



17 Relación de Tablas y Figuras

Número	Título	Página
ARTÍCULO I		
Figura 1	Distribución del mejor intervalo de 10-m según la categoría de edad y la posición de juego en jugadores de rugby.	50
Tabla 1	Tiempo de cada intervalo de 10-m según categoría de edad y puesto específico.	50
Tabla 2	Comparaciones entre intervalos de 10-m en un sprint de 50-m intra - categorías según puesto específico.	51
Tabla 3	Datos descriptivos para las características antropométricas, tiempos de sprint, velocidad máxima de sprint y momento lineal según categoría y puesto de juego.	53
Tabla 4	Comparaciones entre categorías para las características antropométricas, tiempos de sprint, velocidad máxima de sprint y momento lineal para los backs.	54
Tabla 5	Comparaciones entre categorías para las características antropométricas, tiempos de sprint, velocidad máxima de sprint y momento lineal para los delanteros.	55
ARTÍCULO II		
Figura 1	Modelo de las pruebas pilotos realizadas para la prueba SIST.	68
Figura 2	Modelo de las pruebas pilotos realizadas para la prueba SIST.	68
Tabla 1	Datos descriptivos para las variables de sprint, salto y fuerza en jugadores de rugby.	71
Tabla 2	Matriz de correlaciones entre las diferentes variables de rendimiento en el sprint, salto y fuerza dinámica e isométrica en jugadores de rugby.	73
Tabla 3	Correlaciones entre SIST y SIST _{rel} , y las variables de fuerza, saltos y sprint en jugadores de rugby.	74
Figura 3	Gráfica de la correlación entre la prueba de fuerza isométrica específica relativa (SIST _{rel}) (N·kg ⁻¹) y la carga necesaria para alcanzar el 10% de pérdida de velocidad durante el entrenamiento resistido en jugadores de rugby masculinos.	74

Figura 4	Gráfica de la correlación entre la prueba de fuerza isométrica específica relativa (SIST _{rel}) ($\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$) y la carga necesaria para alcanzar el 30% de pérdida de velocidad durante el entrenamiento resistido en jugadores de rugby masculinos.	75
-----------------	--	-----------

Figura 5	Gráfica de la correlación entre la prueba de fuerza isométrica específica relativa (SIST _{rel}) ($\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$) y la carga necesaria para alcanzar el 50% de pérdida de velocidad durante el entrenamiento resistido en jugadores de rugby masculinos.	75
-----------------	--	-----------

ARTÍCULO III

Tabla 1	Rendimiento medio (\pm DE) y diferencias en características antropométricas, sprint, fuerza, perfiles de fuerza-velocidad y salto entre posiciones específicas de rugby.	88
----------------	---	-----------

Figura 1	a) Diferencias estandarizadas (ES) y valoración cualitativa en las comparaciones entre Backs y Delanteros; b) Diferencias estandarizadas (ES) y valoración cualitativa en las comparaciones entre backs externos (OB) e internos (IB); c) Diferencias estandarizadas (ES) y valoración cualitativa en las comparaciones entre Delanteros restantes (BF) y Primeras Líneas (FR).	89
-----------------	---	-----------

Tabla 2	Relaciones entre las variables del perfil de fuerza-velocidad, fuerza, velocidad y rendimiento de salto en jugadores de rugby (Backs).	91
----------------	--	-----------

Tabla 3	Relaciones entre las variables del perfil de fuerza-velocidad, fuerza, velocidad y rendimiento de salto en jugadores de rugby (Dela- nteros).	92
----------------	--	-----------

ARTÍCULO IV

Tabla 1	Características principales y valores de corte para cada uno de los grupos de intervención según el Fvimb.	104
----------------	--	------------

Tabla 2	Cargas y ejercicios seleccionados para el programa de entrenamiento individualizado.	104
----------------	--	------------

Tabla 3	Características del programa de entrenamiento individualizado durante el período de intervención.	105
----------------	---	------------

Tabla 4	Cambios en el rendimiento de fuerza y velocidad pre- y post- período de entrenamiento.	110
----------------	--	------------

Tabla 5	Cambios en las variables mecánicas del perfil fuerza velocidad y saltos pre- y post- período de entrenamiento.	111
----------------	--	------------

ARTÍCULO V

Tabla 1	Diferencias en los niveles de activación muscular durante la fase de aceleración (0-5 m) y máxima velocidad (20-25 m).	125
Figura 1	Activación muscular en las diferentes condiciones de carga durante: A) fase de aceleración (0-5 m); B) velocidad máxima (20-25 m).	126
Tabla 2	Diferencias en el tiempo de división de sprint, el ángulo del tronco y la rigidez durante las fases de aceleración (0-5 m) y velocidad máxima (20-25 m).	127
Figura 2	Tiempos de sprint, ángulo del tronco y stiffness de miembro inferior en las diferentes condiciones de carga durante: A) fase de aceleración (0-5 m); B) velocidad máxima (20-25 m).	128
Tabla 3	Diferencias en tiempo de contacto, tiempo de vuelo, longitud y frecuencia de zancada durante las fases de aceleración (0-5 m) y velocidad máxima (20-25 m).	129
Figura 3	Tiempo de contacto, tiempo de vuelo, longitud y frecuencia de zancada en las diferentes condiciones de carga durante: A) fases de aceleración (0-5 m); B) velocidad máxima (20-25 m).	130

ANEXO I: PUBLICACIONES CIENTÍFICAS Y DIVULGACIÓN DE RESULTADOS



Murcia, a 31 de Mayo, 2019

Dr. Pedro Emilio Alcaraz Ramón
Director del Centro de Investigación en Alto Rendimiento Deportivo (CIARD-UCAM)
Facultad de Ciencias del Deporte
Universidad Católica de Murcia
E-mail: palcaraz@ucam.edu
Telf.: 968 278 566

CERTIFICADO DE ESTANCIA

Por medio de la presente carta certifico que **D. Carlos Santiago Zabaloy** con **DNI 28296571** y **pasaporte AAB222318** ha completado satisfactoriamente una estancia de **3 meses**, en el Centro de Investigación en Alto Rendimiento Deportivo (CIARD-UCAM), perteneciente a la Universidad Católica de Murcia (UCAM), Murcia, España.

- Período: 1 de marzo de 2019 - 31 de mayo de 2019
- Supervisión: Pedro Emilio Alcaraz Ramón.
- El candidato ha participado en el Proyecto titulado *"Efectos agudos del entrenamiento resistido de sprint con arrastre de trineo utilizando diferentes porcentajes de pérdida de velocidad sobre la cinemática, la cinética y la activación muscular en jugadores de rugby"*.

Pedro Emilio Alcaraz Ramón

Director del Centro de Investigación en Alto Rendimiento de la UCAM



PROJECT DATA

Title:	“Acute effects of resisted sprint training on kinetic, kinematic and muscle activation variables in relation to different percentages of velocity decrement in rugby players”	
Principle Researcher	Name	Email
PhD.	Pedro Emilio Alcaraz Ramón	palcaraz@ucam.edu

COMITTEE REPORT

Date	29/03/2019
-------------	------------

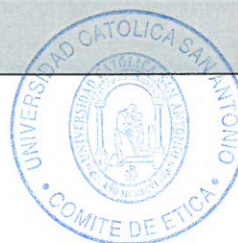
Code	CE031917
-------------	----------

Type of Experimentation

Experimental clinical research involving human subjects	X
Using human tissues from patients, embryonic or fetal tissue	
Using human tissues, embryonic or fetal tissue from banks or tissue samples	
Observational research with humans or use of personal data, genetic information, etc.	X
Animal studies	
Use of biological agents of risk to human health, animal or plant	
Use of genetically modified organisms (GMOs)	

Comments regarding the type of experimentation
No comments

Comments regarding the methodology of experimentation
No comments



UCAM ETHICS COMMITTEE

Suggestions for the researcher


In view of the application of the attached report by the Researcher and the above mentioned recommendations, the opinion of the Committee is to:

Issue a favorable report	X
Issue an unfavorable report	
Issue a favorable report with subject to correction	

MOTIVATION

It will increase knowledge in this area

Approved by the President,



Sig.: José Alberto Cánovas Sánchez



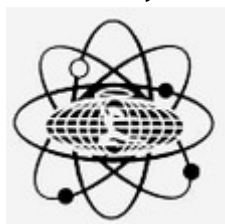
Approved by the Secretary,



Sig.: José Alarcón Teruel



Journal of Human Kinetics, 40-065 Katowice, Mikolowska 72A Str., E-mail: jhk@awf.katowice.pl



Indexed in: PubMed, Index Copernicus, Embase/Excerpta Medica, Journal Citation Reports/Science Edition, SPONET Data base, SCI, EBSCO

Katowice, the 9th of May, 2020

To Whom It May Concern,

On behalf of the Editorial Committee of the *Journal of Human Kinetics*, we would like to confirm that the article entitled “In-season assesment of sprint speed and sprint momentum in rugby players according to the age category and playing position” by Santiago Zabaloy, Julián Giráldez, Federizo Gazzo, Rodrigo Villaseca-Vicuña, Javier Gálvez González, with the corresponding author: Santiago Zabaloy, Faculty of Sports Sciences, Pablo de Olavide University, Seville, Spain; Faculty of Physical Activity and Sports, University of Flores, Buenos Aires, Argentina; has been accepted for print in one of the following issues of the *Journal of Human Kinetics*.

Editor-in Chief

Prof. Adam Zajac

Dear Authors,

Please be informed that your paper has been accepted for print, however, first you are requested to consider and approve the changes made by editors and perform some additional ones as suggested.

Please provide us with the final copy of the manuscript when carefully revised. If you decide to introduce any further changes in the paper, please mark them in red so they could be easily followed by editors.

With regard to publishing procedures, your manuscript has been accepted for print in one of the following issues of the JHK, thus, please expect information from the Editorial Office with regard to further proceeding.

Best regards,

Editors

In-season assesment of sprint speed and sprint momentum in rugby players according to the age and playing position

Authors: *Santiago Zabaloy^{1,2,*}, Julián Giráldez^{1,2}, Federizo Gazzo², Rodrigo Villaseca-Vicuña², Javier Gálvez González²*

Acknowledgments

We would like to acknowledge the help of the clubs and participants who took part in the current study.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

Corresponding author: Santiago Zabaloy, Faculty of Sports Sciences, Pablo de Olavide University, Seville, Spain. Faculty of Physical Activity and Sports, University of Flores, Buenos Aires, Argentina
Tel: (+54) 11-44059303; E-mail (institutional): cszabl@alu.upo.es; E-mail (alternative): santiagozabaloy@hotmail.com

Institutional Affiliations:

¹ *Faculty of Physical Activity and Sports, University of Flores, Buenos Aires, Argentina*

² *Faculty of Sports Sciences, Pablo de Olavide University, Seville, Spain*

32 **Abstract**

33 The purpose of this study was to investigate the interval in which male rugby union players
34 reach maximum speed in a 50 m sprint according to age categories and playing positions. This study
35 also aimed to establish the optimal distance for the assessment of sprint speed and to compare the
36 differences in anthropometrics, sprint and sprint momentum according to the age and playing
37 position. Three hundred amateur rugby players performed anthropometric and physical fitness tests
38 (10, 20, 30, 40 and 50 m sprint times, acceleration, velocity, and sprint momentum) during the in-
39 season period. Participants from different age categories (under 14's (U14), under 16's (U16), under
40 18's (U18) and Seniors) and positions (forwards and backs) volunteered to participate in this study.
41 Results revealed that most of the U14 and U16 players (58.2% and 55.3%, respectively) reached
42 maximum speed in the interval between 20 and 30 m with lower sprint speed than U18 players and
43 Seniors (44% and 49%, respectively). Comparisons between each interval showed significant
44 differences for all U14 and U16 forwards, suggesting the fastest interval was between 20-30 m. No
45 significative differences were found for U16 backs, U18 and Seniors, between sprint times in the 20-
46 30 m and 30-40 m intervals. In addition, between-group comparisons, demonstrated significant ($p <$
47 0.001) differences in U14 when compared to U16, U18 and Seniors in anthropometric variables,
48 sprint times and sprint momentum. In conclusion, this study suggests that the optimal distance for the
49 assessment of sprint speed of rugby players is 30 m and that body mass, sprint momentum and sprint
50 speed clearly discriminate between players of different age categories and playing positions.

51 **Key Words:** *team sports, performance, assessment, velocity*

52

53 **Introduction**

54 Sprint speed is a key factor in the development and performance of a variety of individual and
55 team sports (Alcaraz et al., 2018). Moreover, the ability to quickly accelerate is a critical aspect of
56 sports success (Healy et al., 2016).

57 Rugby is an intermittent sport that involves contact situations in which speed, agility and
58 endurance performance could make players outmatch the rest (Darrall-Jones et al., 2016; Smart et al.,
59 2014; Suárez-Arrones et al., 2012). Those players who excel in speed will have a greater ability to
60 gain the defense line, break tackles, evade defenders and score tries more frequently, as mentioned
61 by Smart et al. (2014). Playing positions in rugby are divided into two groups or sub-units, generally
62 named as forwards and backs (Duthie et al., 2003). The first ones have larger body mass, sprint
63 momentum (SM) and lower speed compared to backs who also take part in more open game situations
64 (Darrall-Jones et al., 2016; Duthie et al., 2003; Nakamura et al., 2016). Forwards end up spending
65 more time in this type of efforts during rucks, mauls and tackles compared to backs, but the latter
66 ones cover longer distances at sprint speed (Darall-Jones et al., 2016). Other authors (Austin et al.,
67 2011; Reardon et al., 2015) showed that there were no differences in the distances covered at sprint
68 speed between forwards and backs, although Austin et al. (2011) mentioned that forwards performed
69 shorter sprints on the average compared to backs. According to Gabbett (2012) accelerations in rugby
70 are ten times more frequent than máximum sprint speed (MSS), and there are very few occasions in
71 which players are able to run carrying the ball for more than ~5 s without being tackled or blocked.
72 Backs normaly perform a higher number of accelerations than forwards though the latter are the ones
73 who, due to their function in the team, have the greater number of impacts of different intensity per
74 game (Quarrie et al., 2013; Suárez-Arrones et al., 2012).

75 In rugby, contact actions are key aspects, and therefore sprint momentum is one of the most
76 relevant factors for sporting success (Baker and Newton, 2008). According to Baker and Newton
77 (2008) SM is the product of body mass and sprint speed (in the initial 10 m), since it is a distance that
78 players usually perform during games. According to Barr et al. (2014), the SM reached in the 30-40
79 m interval is different to the initial SM reached in the 0-10 m interval. Players with the ability to reach
80 high sprint speeds and high levels of acceleration, are the ones who will be able to prevail in contact
81 situations and give the necessary impulse to their teams to advance the ball towards the opponents'
82 goal, something necessary and demanded by the coaches of modern rugby (Baker and Newton, 2008).

83 Regarding the development of acceleration and MSS according to age, sprints are key
84 movements and are considered as a part of the basic structure of the majority of sports (Meyers et al.,
85 2015). MSS develops in younger players as they grow up due to an interaction between stride length
86 and frequency, as both are related to changes occurring at that age (modifications in body size and

peak height velocity), as stated by Meyers et al. (2015). With regard to anthropometric characteristics, Pienaar and Coetzee (2013) indicate that they play an important role in rugby players' performance and influence their playing positions.

In order to improve sprint performance, specific training methods produce better results compared to general training (Rumpf et al., 2016), but we must ensure the use of a given distance for it to be successful. A review by Simperingham et al. (2016) shows that MSS is rarely reached by team sport athletes and that assessment of speed should focus on the acceleration phase in the initial 20 m. A need to establish the distance required to reach MSS in soccer players according to age categories has been noticed (Buchheit et al., 2012). Those authors conclude that at a younger age, a greater percentage of players reach MSS in the 10-20 m interval, while older players require a greater distance to reach MSS (Buchheit et al., 2012). Training programs should be individualized regarding age and playing positions, and in turn this would allow practitioners and coaches to adapt the specific distances needed for sprint speed assessment in rugby players.

In the analysed protocols this distance varies between 20 and 60 m depending on the author and sport (Buchheit et al., 2012; Darrall-Jones et al., 2015; Darrall-Jones et al., 2016; Duthie et al., 2006; Green et al., 2011). In this regard, and after reviewing the scientific literature, to the best of our knowledge, there is no consensus in rugby on the distance needed to reach MSS in rugby players throughout their development, and also there is no consensus about the optimal distance for sprint speed assessment. Therefore, the aims of this study were to: i) determine the distance needed to reach MSS in rugby according to age categories and the playing position; ii) establish the optimal distance for the assessment of sprint speed and to compare the differences in anthropometrics, sprint and sprint momentum according to age categories and playing positions.

Methods

Participants

Three hundred amateur male rugby players volunteered to participate in this study. All participants were members of different clubs and age categories of regional and national federations. The age groups were selected following the rules of the rugby federation, as follows: U14 (n = 91; age: 12.69 ± 0.55); U16 (n = 85; age: 14.82 ± 0.53), U18 (n = 75; age: 16.67 ± 0.52) and Seniors (n = 49; age: 24.16 ± 4.08). All players had an average of ~4.5 hours of rugby specific training and one competitive game per week, independently of age categories. All players had at least one year of playing experience at the club level. As for Senior players, part of them played at the highest national level (n = 22) and the rest (n = 27) participated in regional competitions, although all of them played at an amateur level. The study met the ethical standards and was approved by an Institutional Research Ethics Committee and conformed to the recommendations of the Declaration of Helsinki. After being

122 informed of the purpose and experimental procedures, athletes signed a written informed consent
123 form prior to participation.

124

125 *Study desing and procedures*

126 A descriptive study design was used, since only data of participants were collected in one
127 specific time point. Athletes performed two 50 m sprints on a rugby pitch (natural turf), with four
128 minutes of recovery between each trial to avoid fatigue. Both trials were performed on the same day.
129 Photoelectric cells (Microgate Witty System, Bolzano, Italy) were placed at the beginning and at 10,
130 20, 30, 40 and 50 m. Participants were encouraged to run the 50 m as quickly as possible. These
131 distances were chosen to enable assessment of initial and maximal sprint capabilities as used by Barr
132 et al. (2014). The best time over 50 m was considered for the subsequent analysis. All tests were
133 performed outdoors on astro-turf fields under dry weather conditions. The test started from a standing
134 position, placing the front foot just behind the line, 0.5 m away from the first timing gate. A mark
135 was placed five meters past the finish line and players were encouraged not to slow down until they
136 have passed it, to ensure that they maintained maximum speed until the end of the test. The warm-up
137 protocol consisted of twenty minutes of joint mobility excercises, light jogging, progressive runs,
138 changes of directions and finished with sprint progressions from 5 to 40 m. Participants were asked
139 to avoid exercise on the day prior to testing and not to consume their last meal within 3 hours before
140 the scheduled test time. Times (s) for each interval were named as follows: 10-20 m interval (T10-
141 20m), 20-30 m interval (T20-30m), 30-40 m interval (T30-40m) and 40-50 m interval (T40-50m).
142 Split time records accumulated from one interval to the next one: 0-10 m interval (T10m), 0-20 m
143 interval (T20m), 0-30 m interval (T30m), 0-40 m interval (T40m), 0-50 m interval (T50m). The MSS
144 was calculated from the distance of an interval (10 m) divided by the fastest split time record and then
145 used to obtain SM. The maximal SM was obtained multiplying the MSS by the player's body mass
146 and initial SM was obtained multiplying the speed of the 0-10 m interval by the players' body mass
147 (Barr et al., 2014; Darrall-Jones et al., 2016). The Intraclass Correlation Coeficient (ICC) and the
148 Coeficient of variation (CV) of T10m, T20m, T30m, T40m and T50m were: 0.95 and 2.43%; 0.97
149 and 2.19%; 0.98 and 1.93%; 0.98 and 1.9%; 0.98 and 2.26%, respectively.

150

151 *Statistical analysis*

152 All data are presented as mean \pm SD for each age group (U14, U16, U18 and Senior) and by
153 playing position (forwards and backs). Chi-Square Statistics were used to establish the interval at
154 which maximum speed was reached according to each age category and position. The Student's t-
155 test was used to analyse differences in time records of each interval and effect size (ES) was
156 established according to 'd' Cohens effect and expressed with a confidence interval of 95%. These

157 tests were performed using STATA v14 (StataCorp LLC) statistics software. To establish differences
158 in performance of the measured variables, data were analysed using the method of magnitudes based
159 on inferences (Hopkins et al., 2009). The differences between age groups and playing positions were
160 established based on 'd' Cohen effect size, with a confidence interval of 90%. The criteria used for
161 the interpretation of the ES were defined as trivial (0-0.19), small (0.2-0.59), moderate (0.6-1.1), large
162 (1.2-1.9) and very large (> 2.0) (Batterham and Hopkins, 2006). The qualitative assesment was
163 performed according to the following thresholds: <75%, not clear; 75-95%, likely; 95-99%, very
164 likely; >99%, almost certainly. The ICC and CV were calculated for the two sprints performed, to
165 transmit the reliability of the test. The level of significance was set at $p \leq 0.05$.

166

167 **Results**

168 Regarding the fastest interval in which athletes of each age category and playing position
169 reached MSS (Figure 1), U14 (backs and forwards) and U16 (forwards) (58.3%, 58.1% and 64.7%,
170 respectively) reached their MSS in the T20-30m interval, and among U16 (Backs), 55.9% in the T30-
171 40m interval. In U18 the majority of backs (50%) reached their MSS in the T30-40m interval, and
172 48.6% of forwards reached MSS in the T20-30m interval. Finally, Senior backs had the higher
173 percentage of players (50%) reaching MSS in the T20-30m interval, whereas 58.6% of forwards
174 reached it in the T30-40m interval.

175

176 ****FIGURE 1 NEAR HERE****

177

178 Descriptive data regarding the individual time record for each interval according to age
179 categories and playing positions are shown in Table 1. Comparisons between each 10 m interval (e.g.
180 T10-20m vs. T20-30m) are shown in Table 2. Results indicate that for U14 backs and forwards, and
181 U16 forwards, statistically significant differences existed between intervals from 10 to 50 m (ES
182 between *trivial* and *small*; $p < 0.001$). In U16 backs, U18 and Senior forwards comparisons showed
183 that differences existed in all of the intervals, except for T20-30m vs. T30-40m (ES *trivial*; $p > 0.05$).
184 In contrast, U18 and Senior backs showed no significant differences in T20-30m and T30-40m
185 intervals (ES *trivial*; $p > 0.05$).

186

187 ****TABLE 1 NEAR HERE****

188

189 *****TABLE 2 NEAR HERE*****

190

191 Table 3 displays descriptive results for all measured variables. Between-group differences in
192 the comparisons of anthropometric variables, sprint performance and sprint momentum in backs are
193 presented in Table 4. Statistically significant differences were found between U14 and the rest of age
194 categories in all measured variables (ES *large* and *very large*). Between U16 and U18 *small*
195 differences were observed in height, T10m, T20m and T30m (ES = -0.20-0.55). Regarding body
196 mass, T40m, T50m and initial SM differences were deemed *moderate* (ES = -0.65-1.05). Finally,
197 U16 and U18 showed *very large* differences in SM (ES = 1.27). U16 and Seniors demonstrated *small*
198 differences in T10m, T20m, and *moderate* for height, T30m, T40m, T50m and MSS. Regarding body
199 mass, SM and initial SM *very large* differences were found between U16 vs. Seniors (ES = 1.93-
200 2.17). Comparisons between U18 and Seniors, *trivial* differences were observed in sprint times for
201 all intervals, and *small* differences in height. Regarding body mass, SM and initial SM *moderate*
202 differences were observed (ES = 0.9-1.01). Between-group differences in the comparisons of
203 anthropometric variables, sprint performance and sprint momentum in forwards are presented in Table
204 5. Statistically significant differences were observed between U14 and the rest of age categories in
205 all the variables (ES between *large* and *very large*). *Small* to *moderate* differences were observed
206 between U16 and U18 in T20m, T30m, T40m, T50m and MSS (ES = 0.31-0.71). Regarding body
207 mass, T10m and initial SM, no significant differences were observed (ES *trivial*; $p > 0.05$). Small
208 differences between U16 and Seniors were observed in height and sprint times in all intervals (ES =
209 0.24-0.55). Statistically significant differences were reported for body mass and MSS (ES = 0.68-
210 0.86), and *large* differences were observed for initial SM and SM. Between U18 and Seniors *small*
211 differences were observed in T10m (ES = -0.23). Regarding height, T20m, T30m, T40m, T50m and
212 MSS differences were deemed *unclear* (ES *trivial*). Finally, differences in body mass, initial SM and
213 SM were between *moderate* and *large* (ES = 0.95-1.25).

214

215 *****TABLE 3 NEAR HERE*****

216

217 *****TABLE 4 NEAR HERE*****

218

219 ****TABLE 5 NEAR HERE****

220

221 Discussion

222 The aim of the present study was to establish in which interval a rugby player attains MSS in
223 a 50 m sprint according to the age category and playing position. The main findings of the present
224 study were: i) the younger the players, there was a higher percentage of athletes reaching their MSS
225 earlier, and the older the players, the greater the maximum speed and also the greater distance needed
226 to reach it; ii) a novel finding was that regardless of the age category and playing position, the
227 optimum distance for sprint assessment would be 30 m; iii) finally, in relation to the age and playing
228 position we observed similar results as in previous research (Darrall-Jones et al., 2015; Darrall-Jones
229 et al., 2016), where older players differed mainly by having higher body mass, MSS (except for U18
230 vs. Senior) and maximal SM values in contrast to younger players, especially U14.

231 Regarding positional differences between forwards and backs of the same age categories, in
232 U14 and U16 (Figure 1), most of the forwards reached their MSS in the T20-30m interval, but there
233 was an important number of players that reached it in the T10-20m interval (25.6% and 7.8%,
234 respectively), others in T30-40m (14% and 25.5%) and even ~2% of players reached it in the T40-
235 50m interval. A similar outcome was observed for U14 backs though this was not valid for U16 as
236 we observed that adding T20-30m and T30-40m, 97.1% of players reached MSS between the 20-40
237 m interval, and for U14 backs, only 83.3%. Regarding the variability that exists in the distance needed
238 to reach their MSS, in U14 and U16 (forwards), this could be related to the inter-individual differences
239 within the same chronological age groups. According to Mendez-Villanueva et al. (2011) age-related
240 differences are almost completely responsible for the differences in maturation. Meyers et al. (2017)
241 affirm that in athletes who are in the previous stage of peak height velocity, their body mass has a
242 negative impact on speed. Therefore, it is important to highlight that this could be the reason of the
243 variability that exists in the distance needed to reach MSS in U14 and U16 (forwards) age categories.
244 These results coincide in part with Bucheitt et al. (2012), as they show similar data for U14 and
245 younger players, but they differ in the U16 category since they indicate that athletes reach their MSS
246 in the T30-40m interval. Therefore, our findings suggest that specially for U14 rugby players, sprint
247 speed development and assessment should be done consistently around (or prior to) this age and this
248 information could be used as a complement of the peak height velocity to monitor maturity status in
249 a long term development process.

250 Regarding U18 backs and Seniors (Figure 1), a high percentage of players (>80%) reached their
251 MSS between T20-30 m and T30-40 m intervals since, as previously mentioned, they had higher
252 values of velocity and lower body mass compared to forwards (Darrall-Jones et al., 2016), which

means they needed a greater distance to reach MSS. In addition, in U16, U18 and Senior forwards (Figure 1), a high percentage of players (>85%) reached their MSS also between T20-30m and T30-40m intervals. These results coincide with those provided by Barr et al. (2013), who observed that rugby players reached their MSS in the T30-40m interval, although they used a very small sample ($n = 11$) and all variables were estimated using video analysis, which makes it difficult to establish a direct comparison. Also, Bucheitt et al. (2012) in a report with youth soccer players obtained similar results to our study, reporting that U16 and U18 players reached MSS in the T30-40m interval.

A novel finding of the present study is that, if we perform a comparative analysis regarding the time of each 10 m interval with each other, the results suggests that 30 m could be a sufficient distance for the assessment of sprint speed regardless of the age category and playing position. Results in Table 1 show how sprint times change as the distance increases without taking into account the acceleration phase. Regarding sprint times comparisons (Table 2), U14 backs and forwards obtained the lowest times in the T20-30m interval with *trivial* differences ($p < 0.05$) comparing the interval with the preceding and the following one. A similar outcome was observed with respect to U16 forwards, and in turn this could suggest that the optimal distance for MSS assessment in these age categories would be no more than 30 m. These results are in line with Darrall-Jones et al. (2015) who pointed out that younger players (U14 and U16 forwards in our case) reached MSS sooner and that they were unable to sustain that speed in distances over T20-30m intervals, while older players (U16 backs, U18 and Seniors) could reach higher MSS and maintain the speed rate for a longer time, which also suggests greater endurance to velocity loss. Regarding the latter, it is worth mentioning that comparisons showed no differences between T20-30m and T30-40m intervals among U16 backs, as well as U18 and Senior forwards. In addition, in U18 and Senior backs, no difference was found in the T20-30m vs. T30-40m interval (ES *trivial*) and therefore, it may be suggested that 30 m could also be the optimal distance to assess MSS in rugby players. The present study confirmed previous findings among Aussie Rules Footballers which reported that in 30 m, athletes had already reached 99.0% of their MSS and that in the T30-40m interval, there were no significant increases in sprint speed (Young et al., 2008). Moreover, in practical terms, these results suggest that in amateur rugby players, a 30 m sprint test would be a sufficient distance for the assessment of sprint speed and, that sprint speed could also be a usefull reference when monitoring players in training and competitions using individual speed thresholds.

As for the differences in anthropometric characteristics, sprint times, MSS and SM in backs and forwards (Tables 3, 4 and 5), present findings suggest, like Till et al. (2017), that the evolution in speed according to the athletes' age could be clearly differentiated between age groups below U16, but not as clearly between these and older players. Till et al. (2017) observed that increases in body mass and height could reduce the development of sprint speed, and this suggests that the assessment

288 of SM, along with MSS, can be an important consideration for monitoring players over 16 years of
289 age. It is important to highlight the statement of Till et al. (2015), who indicate that as they grow
290 older, the differences between athletes will become smaller even if the time records continue to
291 decrease, also stating that players will not continue to develop their physical qualities at such a high
292 rate as they grow older and gain more training experience. Results of the present study indicate that
293 there are clear differences between U14 and the rest of age categories regarding anthropometric
294 characteristics, sprint times, MSS and SM, regardless of positions. These findings are in line with
295 Darrall-Jones et al. (2015) who found that the increases in athletes' body mass as they grow could
296 probably explain the normal path of growth and maturation after the peak height velocity spurt.
297 According to our results, U14 players could be going through this stage that represents a key moment
298 during the adolescence and that therefore, there will also be increments in body mass (Mendez-
299 Villanueva et al., 2011). Therefore, at least in part, these typical morphological changes at
300 adolescence could explain the *large* differences observed in all measured variables in U14 compared
301 to the rest of players. *Small* to *moderate* differences were observed between U16 and Seniors, in all
302 sprint times, *moderate* differences in height and MSS and *very large* differences in body mass and
303 SM. Comparisons of T10m between U16 and Seniors were deemed *small*, in contrast to *very large*
304 differences in maximal SM. This means that Senior players reach higher sprint speed and lower times
305 in all intervals except the initial (T10m), and furthermore, maximal SM much higher than U16
306 players. Both, MSS and SM are determinant variables for performance in rugby union and above all
307 they have the power to discriminate between elite athletes and those of a lower level (Baker and
308 Newton, 2008; Darrall-Jones et al., 2016), and it explains as well why Senior players do not and
309 should not compete against younger players.

310 This work has some limitations that should be considered when interpreting the results. The
311 main limitation of our study was the fact that we did not control the maturity status (e.g. peak height
312 velocity) of the younger athletes, to better understand the differences that exist between particular age
313 categories. Secondly, we did not assess jumping ability, which also would have helped to understand
314 more clearly certain results. Regarding the use of the number of intervals, we believe that an initial
315 section (0-5 m) should be used to estimate acceleration and starting speed.

316

317 **Conclusions**

318 In conclusion, the majority of U14 backs and forwards, reached MSS in the T20-30m interval,
319 as well as U18 and U16 forwards and Senior backs. At the T30-40m interval, the highest percentage
320 was found for U16 and U18 backs, and Senior forwards. When analyzing the times of each interval,
321 results demonstrated that U14 and U16 forwards' sprint speed did not increase after the T20-30m
322 interval, while U16, U18 and Senior backs did not reach higher sprint speed after the T30-40m

323 interval. These findings suggest that in all cases a distance of 30 m is sufficient to assess sprint speed
324 and sprint momentum in rugby players. Moreover, it was observed that body mass, sprint momentum
325 and sprint speed clearly discriminated between players of different age categories and playing
326 positions. Finally, no differences were found between U18 and Senior players in sprint times and
327 MSS.

328

329 **References**

- 330 Alcaraz PE, Carlos-Vivas J, Oponjuru BO, Martínez-Rodríguez A. The effectiveness of resisted sled
331 training (RST) for sprint performance: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med*,
332 2018; 48(9): 2143-2165
- 333 Austin D, Gabbett T, Jenkins D. The physical demands of Super 14 rugby union. *J Sci Med Sport*,
334 2011; 14(3): 259-263
- 335 Baker DG, Newton RU. Comparison of lower body strength, power, acceleration, speed, agility, and
336 sprint momentum to describe and compare playing rank among professional rugby league
337 players. *J Strength Cond Res*, 2008; 22(1): 153-158
- 338 Barr MJ, Sheppard JM, Gabbett TJ, Newton RU. Long-term training induced changes in sprinting
339 speed and sprint momentum in elite rugby union players. *J Strength Cond Res*, 2014; 28(10):
340 2724-2731
- 341 Barr MJ, Sheppard JM, Newton RU. Sprinting kinematics of elite rugby players. *J Aust Strength*
342 *Cond*, 2013; 21(4): 14-20
- 343 Batterham AM, Hopkins WG. Making meaningful inferences about magnitudes. *Int J Sport Physiol*,
344 2006; 1(1): 50-57
- 345 Buchheit M, Simpson BM, Peltola E, Mendez-Villanueva A. Assessing maximal sprinting speed in
346 highly trained young soccer players. *Int J Sport Physiol*, 2012; 7(1): 76-78
- 347 Darrall-Jones JD, Jones B, Roe G, Till K. Reliability and usefulness of linear sprint testing in
348 adolescent rugby union and league players. *J Strength Cond Res*, 2016; 30(5): 1359-1364
- 349 Darrall-Jones JD, Jones B, Till K. Anthropometric and physical profiles of english academy rugby
350 union players. *J Strength Cond Res*, 2015; 29(8): 2086-2096
- 351 Darrall-Jones JD, Jones B, Till K. Anthropometric, sprint, and high-intensity running profiles of
352 english academy rugby union players by position. *J Strength Cond Res*, 2016; 30(5): 1348-1358
- 353 Duthie GM, Pyne DB, Marsh DJ, Hooper SL. Sprint patterns in rugby union players during
354 competition. *J Strength Cond Res*, 2006; 20(1): 208-214
- 355 Duthie G, Pyne D, Hooper S. Applied physiology and game analysis of rugby union. *Sports Med*,
356 2003; 33(13): 973-991

357

358 Gabbett TJ. Sprinting patterns of national rugby league competition. *J Strength Cond Res*, 2012;
359 26(1): 121-130

360 Green BS, Blake C, Caulfield BM. A valid field test protocol of linear speed and agility in rugby
361 union. *J Strength Cond Res*, 2011; 25(5): 1256-1262

362 Healy R, Norris M, Kenny IC, Harrison AJ. A novel protocol to measure short sprint performance.
363 *Procedia Engineering*, 2016; 147: 706-711

364 Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports
365 medicine and exercise science. *Med Sci Sport Exer*, 2009; 41(1): 3-13

366 Mendez-Villanueva A, Buchheit M, Kuitunen S, Douglas A, Peltola E, Bourdon P. Age-related
367 differences in acceleration, maximum running speed, and repeated-sprint performance in young
368 soccer players. *J Sport Sci*, 2011; 29(5): 477-484

369 Meyers RW, Oliver JL, Hughes MG, Cronin JB, Lloyd RS. Maximal sprint speed in boys of
370 increasing maturity. *Pediatr Exerc Sci*, 2015; 27(1): 85-94

371 Meyers RW, Oliver JL, Hughes, MG, Lloyd RS, Cronin JB. Influence of age, maturity, and body size
372 on the spatiotemporal determinants of maximal sprint speed in boys. *J Strength Cond Res*, 2017;
373 31(4): 1009-1016

374 Nakamura FY, Pereira LA, Moraes JE, Kobal R, Kitamura K, Cal Abad CC, Teixeira Vaz LM,
375 Loturco I. Physical and physiological differences of backs and forwards from the Brazilian
376 National rugby union team. *J Sport Med Phys Fit*, 2016; 57(12): 1549-1556

377 Pienaar C, Coetzee B. Changes in selected physical, motor performance and anthropometric
378 components of university-level rugby players after one microcycle of a combined rugby
379 conditioning and plyometric training program. *J Strength Cond Res*, 2013; 27(2): 398-415

380 Quarrie KL, Hopkins WG, Anthony MJ, Gill ND. Positional demands of international rugby union:
381 evaluation of player actions and movements. *J Sci Med Sport*, 2013; 16(4): 353-359

382 Reardon C, Tobin DP, Delahunt E. Application of individualized speed thresholds to interpret
383 position specific running demands in elite professional rugby union: a gps study. *PLOS ONE*,
384 2015; 24;10(7): e0133410

385 Rumpf MC, Lockie RG, Cronin JB, Jalilvand F. Effect of different sprint training methods on sprint
386 performance over various distances: a brief review. *J Strength Cond Res*, 2016; 30(6): 1767-
387 1785

388 Simperingham KD, Cronin, JB, Ross A. Advances in sprint acceleration profiling for field-based
389 team-sport athletes: utility, reliability, validity and limitations. *Sports Med*, 2016; 46(11): 1619-
390 1645

391 Smart D, Hopkins WG, Quarrie KL, Gill N. The relationship between physical fitness and game
392 behaviours in rugby union players. *Eur J Sport Sci*, 2014; 14(sup1): S8-S17

393 Suárez-Arrones LJ, Portillo LJ, González-Ravé JM, Muñoz VE, Sanchez F. Match running
394 performance in Spanish elite male rugby union using global positioning system. *Isokinet Exerc*
395 *Sci*, 2012; 20(2): 77-83

396 Till K, Jones B, Darrall-Jones J, Emmonds S, Cooke C. Longitudinal development of anthropometric
397 and physical characteristics within academy rugby league players. *J Strength Cond Res*, 2015;
398 29(6): 1713-1722

399 Till K, Scantlebury S, Jones B. Anthropometric and physical qualities of elite male youth rugby
400 league players. *Sports Med*, 2017; 47(11): 2171-2186

401 Young W, Russell A, Burge P, Clarke A, Cormack S, Stewart G. The use of sprint tests for assessment
402 of speed qualities of elite australian rules footballers. *Int J Sport Physiol*, 2008; 3(2): 199-206

403

404

405

406

407

408

409

410

411

412

413

414

415

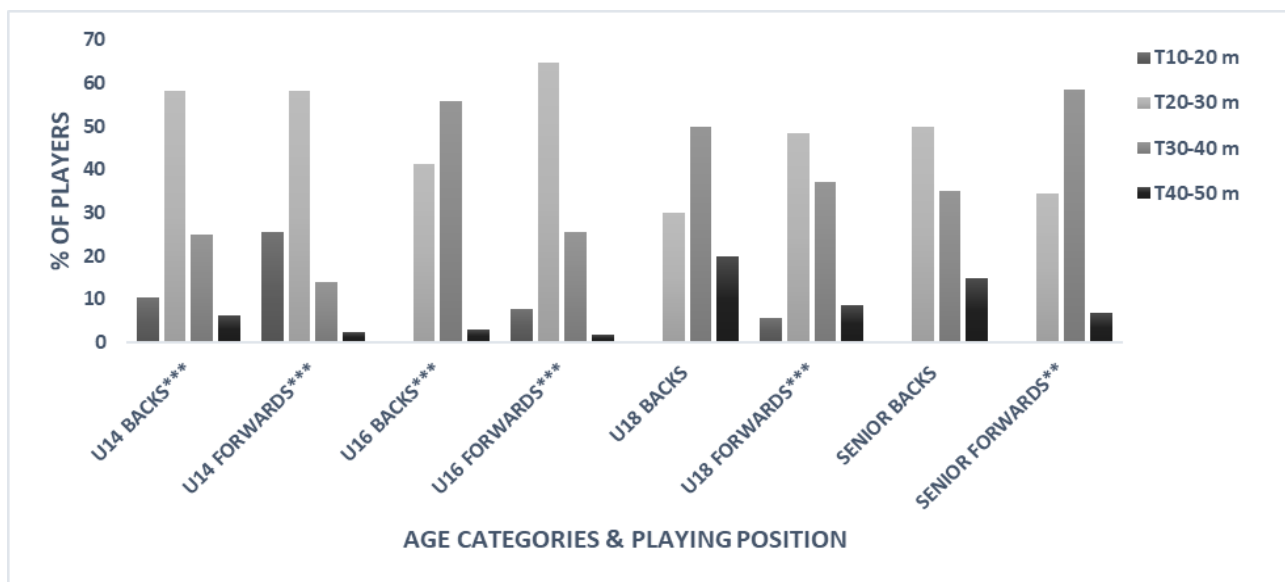


Figure 1: Fastest 10 m interval distribution according to the age category and playing position in rugby players. **Significant within age group X^2 value with $p < 0.01$; ***Significant within-age group X^2 value with $p < 0.001$.

Table 1: Time (s) for each 10 m interval by age categories and playing position.

Variable	U14		U16		U18		Senior	
Interval	F (n=43)	B (n=48)	F (n=51)	B (n=34)	F (n=35)	B (n=40)	F (n=29)	B (n=20)
T10-20m (s)	1.62 ± 0.16	1.5 ± 0.13	1.41 ± 0.13	1.33 ± 0.07	1.35 ± 0.08	1.29 ± 0.06	1.34 ± 0.08	1.29 ± 0.08
T20-30m (s)	1.59 ± 0.18	1.47 ± 0.14	1.36 ± 0.16	1.29 ± 0.08	1.27 ± 0.09	1.22 ± 0.08	1.29 ± 0.08	1.20 ± 0.08
T30-40m (s)	1.62 ± 0.19	1.48 ± 0.14	1.38 ± 0.17	1.29 ± 0.09	1.27 ± 0.09	1.21 ± 0.09	1.28 ± 0.1	1.21 ± 0.09
T40-50m (s)	1.66 ± 0.2	1.52 ± 0.17	1.4 ± 0.2	1.31 ± 0.1	1.31 ± 0.11	1.23 ± 0.08	1.31 ± 0.1	1.22 ± 0.1

*Data are presented as mean (\pm SD). F: Forwards; B: Backs; U14: under 14's; U16: under 16's; U18: under 18's; *T10-20: 10 m sprint time (s) in the interval 10-20m; *T20-30: 10 m sprint time (s) in the interval 20-30m; *T30-40= 10 m sprint time (s) in the interval 30-40m; *T40-50: 10 m sprint time (s) in the interval 40-50m.

*Data are presented as mean (\pm SD). F: Forwards; B: Backs; U14: under 14's; U16: under 16's; U18: under 18's; *T10-20: 10 m sprint time (s) in the interval 10-20m; *T20-30: 10 m sprint time (s) in the interval 20-30m; *T30-40= 10 m sprint time (s) in the interval 30-40m; *T40-50: 10 m sprint time (s) in the interval 40-50m. ***ES: effect size Cohen's d. CI: confidence interval.

*Data are presented as mean (\pm SD). F: Forwards; B: Backs; U14: under 14's; U16: under 16's; U18: under 18's; *T10-20: 10 m sprint time (s) in the interval 10-20m; *T20-30: 10 m sprint time (s) in the interval 20-30m; *T30-40= 10 m sprint time (s) in the interval 30-40m; *T40-50: 10 m sprint time (s) in the interval 40-50m. ***ES: effect size Cohen's d. CI: confidence interval.

*Data are presented as mean (\pm SD). F: Forwards; B: Backs; U14: under 14's; U16: under 16's; U18: under 18's; *T10-20: 10 m sprint time (s) in the interval 10-20m; *T20-30: 10 m sprint time (s) in the interval 20-30m; *T30-40= 10 m sprint time (s) in the interval 30-40m; *T40-50: 10 m sprint time (s) in the interval 40-50m. ***ES: effect size Cohen's d. CI: confidence interval.

448

449

450

451

452

453

454

455

456

457

Table 3: Anthropometric characteristics, 50 m linear sprint times, maximum sprint speed and sprint momentum according to playing position and age categories.

<i>Variables</i>	BACKS				FORWARDS			
	U14 (n=43)	U16 (n=51)	U18 (n=35)	Senior (n=29)	U14 (n=43)	U16 (n=51)	U18 (n=35)	Senior (n=29)
<i>Body mass (kg)</i>	47.55 ± 8.27	64.57 ± 8.83	74.47 ± 9.84	84.15 ± 8.93	66.85 ± 13.25	82.87 ± 14.75	83.54 ± 10.18	95.13 ± 13.34
<i>Height (m)</i>	1.59 ± 0.09	1.73 ± 0.05	1.76 ± 0.06	1.80 ± 0.06	1.65 ± 0.09	1.77 ± 0.07	1.79 ± 0.06	1.80 ± 0.07
<i>T10m (s)</i>	1.86 ± 0.12	1.71 ± 0.08	1.7 ± 0.07	1.69 ± 0.1	1.98 ± 0.16	1.78 ± 0.15	1.77 ± 0.11	1.75 ± 0.12
<i>T20m (s)</i>	3.37 ± 0.25	3.05 ± 0.15	2.99 ± 0.13	2.98 ± 0.18	3.6 ± 0.32	3.2 ± 0.28	3.13 ± 0.18	3.09 ± 0.19
<i>T30m (s)</i>	4.84 ± 0.39	4.34 ± 0.23	4.22 ± 0.2	4.19 ± 0.25	5.20 ± 0.5	4.57 ± 0.44	4.4 ± 0.26	4.39 ± 0.27
<i>T40m (s)</i>	6.32 ± 0.53	5.63 ± 0.32	5.43 ± 0.29	5.41 ± 0.34	6.82 ± 0.7	5.95 ± 0.62	5.68 ± 0.35	5.67 ± 0.37
<i>T50m (s)</i>	7.85 ± 0.7	6.95 ± 0.42	6.66 ± 0.38	6.64 ± 0.45	8.49 ± 0.9	7.36 ± 0.81	6.99 ± 0.45	6.99 ± 0.47
<i>MSS (m·s⁻²)</i>	6.92 ± 0.65	7.87 ± 0.53	8.37 ± 0.56	8.42 ± 0.57	6.40 ± 0.72	7.45 ± 0.71	7.9 ± 0.55	7.89 ± 0.58
<i>SMmax (kg·s⁻¹)</i>	329.76 ± 69.66	510.06 ± 87.66	623.3 ± 89.34	710.24 ± 98.07	426.68 ± 89.81	612.63 ± 95.58	659.83 ± 78.61	747.77 ± 91.91
<i>SMinitial (kg·s⁻¹)</i>	255.97 ± 49.92	377.86 ± 60.64	438.22 ± 56.33	498.9 ± 63.05	338.7 ± 66.37	464.2 ± 70.51	470.16 ± 46.37	543.51 ± 67.47

†Data are presented as mean (±SD) *MMS: maximum sprint speed; SMinitial: initial sprint momentum; SMmax: maximum sprint momentum; T10m: 10 m sprint time (s); T20m: 20 m sprint time (s); T30m: 30 m sprint time (s); T40m: 40 m sprint time (s); T50m: 50 m sprint time (s).

458
459

Table 4: Between-age category comparisons for anthropometric characteristics, 50 m linear sprint times, maximum sprint speed and sprint momentum for backs.

'd' Cohen effect size (90% confidence interval), p-value and qualitative outcome.						
<i>Variables</i>	U14 v U16	U14 v U18	U14 v Sen	U16 v U18	U16 v Sen	U18 v Sen
<i>Body mass</i>	1.97 ± 0.37***; almost certainly	2.93 ± 0.36***; almost certainly	4.19 ± 0.45***; almost certainly	1.05 ± 0.38***; almost certainly	2.17 ± 0.47***; almost certainly	1.02 ± 0.45***; almost certainly
<i>Height</i>	1.86 ± 0.35***; almost certainly	2.14 ± 0.35***; almost certainly	2.54 ± 0.41***; almost certainly	0.55 ± 0.38**; likely	1.1 ± 0.48***; almost certainly	0.49 ± 0.45; p = 0.076; likely
<i>T10m</i>	-1.35 ± 0.36***; almost certainly	-1.56 ± 0.34***; almost certainly	-1.45 ± 0.43***; almost certainly	-0.2 ± 0.39; p = 0.39; unclear	-0.24 ± 0.48; p = 0.41; unclear	-0.08 ± 0.48; p = 0.78; unclear
<i>T20m</i>	-1.47 ± 0.35***; almost certainly	-1.8 ± 0.34***; unclear	-1.7 ± 0.41***; almost certainly	-0.41 ± 0.39; p = 0.07; likely	-0.41 ± 0.48; p = 0.15; likely	-0.06 ± 0.48; p = 0.84; unclear
<i>T30m</i>	-1.49 ± 0.35; ***; almost certainly	-1.93 ± 0.34; ***; almost certainly	-1.91 ± 0.4***; almost certainly	-0.58 ± 0.39*; very likely	-0.62 ± 0.47*; likely	-0.1 ± 0.47; p = 0.7; unclear
<i>T40m</i>	-1.52 ± 0.35; ***; almost certainly	-2.03 ± 0.34; ***; almost certainly	-1.99 ± 0.4***; almost certainly	-0.65 ± 0.39***; very likely	-0.67 ± 0.47*; very likely	-0.07 ± 0.47; p = 0.81; unclear
<i>T50m</i>	-1.52 ± 0.35; ***; almost certainly	-2.06 ± 0.34; ***; almost certainly	-2.01 ± 0.4***; almost certainly	-0.71 ± 0.39***; very likely	-0.7 ± 0.47**; very likely	-0.06 ± 0.47; p = 0.84; unclear
<i>MSS</i>	1.58 ± 0.36; ***; almost certainly	2.36 ± 0.35; ***; almost certainly	2.41 ± 0.43***; almost certainly	0.91 ± 0.38**; almost certainly	0.99 ± 0.47***; very likely	0.09 ± 0.46; p = 0.73; unclear
<i>SMmax</i>	2.25 ± 0.38; ***; almost certainly	3.63 ± 0.36; ***; almost certainly	4.39 ± 0.47***; almost certainly	1.27 ± 0.38***; almost certainly	2.12 ± 0.47***; almost certainly	0.91 ± 0.46***; very likely
<i>SMinitial</i>	2.17 ± 0.38; ***; almost certainly	3.39 ± 0.36; ***; almost certainly	4.2 ± 0.46***; almost certainly	1.02 ± 0.38***; almost certainly	1.93 ± 0.47***; almost certainly	1 ± 0.46***; almost certainly

†Data are presented as mean (±SD) and Cohen's d effect size (90% confidence intervals [CIs]) and qualitative outcome of the effect based on Hopkins' criteria. *MMS= maximum sprint speed; SMinitial = initial sprint momentum; SMmax = maximum sprint momentum; T10m: 10 m sprint time (s); T20m: 20 m sprint time (s); T30m: 30 m sprint time (s); T40m: 40 m sprint time (s); T50m: 50 m sprint time (s). ***p < 0.001, **p < 0.01, *p < 0.05.

479
480
481

482
483
484
485

486

Table 5: Between-age category comparisons for anthropometric characteristics, 50 m linear sprint times, maximum sprint speed and sprint momentum for forwards.

'd' Cohen effect size (90% confidence interval), p-value and qualitative outcome.						
<i>Variables</i>	U14 vs. U16	U14 vs. U18	U14 vs. Sen	U16 vs. U18	U16 vs. Sen	U18 vs. Sen
<i>Body mass</i>	1.13 ± 0.34***; almost certainly	1.41 ± 0.37***; almost certainly	2.1 ± 0.4***; almost certainly	0.06 ± 0.35; p = 0.77; unclear	0.86 ± 0.38*; almost certainly	0.95 ± 0.42***; almost certainly
<i>Height</i>	1.36 ± 0.34***; almost certainly	1.72 ± 0.37***; almost certainly	1.8 ± 0.39***; almost certainly	0.35 ± 0.36; p = 0.11; likely	0.51 ± 0.38*; likely	0.19 ± 0.42; p = 0.44; unclear
<i>T10m</i>	-1.21 ± 0.34***; almost certainly	-1.42 ± 0.37***; almost certainly	-1.56 ± 0.28***; almost certainly	-0.05 ± 0.35; p = 0.81; unclear	-0.24 ± 0.37; p = 0.27; unclear	-0.23 ± 0.42; ***.35; unclear
<i>T20m</i>	-1.3 ± 0.34***; almost certainly	-1.77 ± 0.37***; almost certainly	-1.86 ± 0.38***; almost certainly	-0.31 ± 0.35; p = 0.14; unclear	-0.43 ± 0.36*; likely	-0.16 ± 0.42; p = 0.51; unclear
<i>T30m</i>	-1.3 ± 0.34***; almost certainly	-1.93 ± 0.36***; almost certainly	-1.96 ± 0.37***; almost certainly	-0.45 ± 0.35*; likely	-0.49 ± 0.36*; likely	-0.06 ± 0.42; p = 0.8; unclear
<i>T40m</i>	-1.3 ± 0.34***; almost certainly	-2.03 ± 0.36***; almost certainly	-2.02 ± 0.37***; almost certainly	-0.53 ± 0.34**; likely	-0.54 ± 0.36**; very likely	-0.03 ± 0.42; p = 0.9; unclear
<i>T50m</i>	-1.3 ± 0.34***; almost certainly	-2.07 ± 0.36***; almost certainly	-2.06 ± 0.37***; almost certainly	-0.55 ± 0.34*; very likely	-0.55 ± 0.36**; very likely	-0.02 ± 0.42; p = 0.94; unclear
<i>MSS</i>	1.45 ± 0.34***; almost certainly	2.32 ± 0.37***; almost certainly	2.26 ± 0.39***; almost certainly	0.71 ± 0.35**; very likely	0.68 ± 0.37**; very likely	0.02 ± 0.42; p = 0.94; unclear
<i>SMmax</i>	1.99 ± 0.34***; almost certainly	2.73 ± 0.37***; almost certainly	3.49 ± 0.4***; almost certainly	0.53 ± 0.36*; likely	1.43 ± 0.38***; almost certainly	1.01 ± 0.42***; almost certainly
<i>SMinitial</i>	1.82 ± 0.34***; almost certainly	2.427 ± 0.37***; almost certainly	3.03 ± 0.4***; almost certainly	0.1 ± 0.35; p = 0.63; unclear	1.14 ± 0.38***; almost certainly	1.25 ± 0.42***; almost certainly

*†*Data are presented as mean (±SD) and Cohen's d effect size (90% confidence intervals [CIs]) and qualitative outcome of the effect based on Hopkins' criteria. *MMS= maximum sprint speed; SMinitial = initial sprint momentum; SMmax = maximum sprint momentum; T10m: 10 m sprint time (s); T20m: 20 m sprint time (s); T30m: 30 m sprint time (s); T40m: 40 m sprint time (s); T50m: 50 m sprint time (s). *** p < 0.001, ** p < 0.01, * p < 0.05.



CERTIFICATE OF PUBLICATION

Certificate of publication for the article titled:

Relationships between Resisted Sprint Performance and Different Strength and Power Measures in Rugby Players

Authored by:







Santiago Zabalo; Jorge Carlos-Vivas; Tomás T. Freitas; Fernando Pareja-Blanco; Lucas Pereira; Irineu Loturco;
Thomas Comyns; Javier Gálvez-González; Pedro E. Alcaraz

Published in:

Sports 2020, Volume 8, Issue 3, 34

Article

Relationships between Resisted Sprint Performance and Different Strength and Power Measures in Rugby Players

Santiago Zabalo^{1,2,*} , Jorge Carlos-Vivas³ , Tomás T. Freitas^{3,4,5} ,
Fernando Pareja-Blanco^{2,6}, Lucas Pereira^{4,5} , Irineu Loturco^{4,5,7}, Thomas Comyns⁸,
Javier Gálvez-González²  and Pedro E. Alcaraz^{3,9,*} 

¹ Faculty of Physical Activity and Sports, Universidad de Flores, Pedernera 268, Buenos Aires, Argentina

² Faculty of Sports Sciences, Universidad Pablo de Olavide, Carretera Utrera km 1, 41013 Seville, Spain; fparbla@gmail.com (F.P.-B.); jgalgon@upo.es (J.G.-G.)

³ UCAM Research Center for High Performance Sport, Catholic University of Murcia, Campus de los Jerónimos, 30107 Guadalupe, Murcia, Spain; jorge.carlosvivas@gmail.com (J.C.-V.); tfreitas@ucam.edu (T.T.F.)

⁴ NAR—Nucleus of High Performance in Sport, São Paulo, SP 04753-070, Brazil; lucasa_pereira@outlook.com (L.P.); irineu.loturco@terra.com.br (I.L.)

⁵ Department of Human Movement Sciences, Federal University of São Paulo, Butanta, SP 11015-020, Brazil

⁶ Physical Performance & Athletic Research Center, Universidad Pablo de Olavide, Carretera Utrera km 1, 41013 Seville, Spain

⁷ Faculty of Life Sciences and Education, University of South Wales, Pontypridd, Wales CF37 1DL, UK

⁸ Department of Physical Education and Sport Sciences, University of Limerick, V94 T9PX Limerick, Ireland; Tom.Comyns@ul.ie

⁹ Faculty of Sport Sciences, UCAM, Catholic University of Murcia, Campus de los Jerónimos, 30107 Guadalupe, Murcia, Spain

* Correspondence: cszab1@alu.upo.es (S.Z.); palcaraz@ucam.edu (P.E.A.)

Received: 3 February 2020; Accepted: 27 February 2020; Published: 14 March 2020



Abstract: This study aimed to investigate the relationship between a specific isometric-strength sprint test (SIST) and unresisted maximum velocity (V_{max}), sprint times across different loading conditions, and the velocity loss (V_{loss}) loads required to achieve each intended V_{loss} condition during resisted sprint training (RST) in rugby players. Additionally, the investigation examined the relationship between strength in the back-squat one-repetition maximum (1RM-SQ) as well as isometric squat (ISQT), jumps, and sprint performance variables. Twenty ($n = 20$) male amateur rugby players performed, on two separate occasions, a structural multiple-joint assessment of jumps, strength, and sprint performance. Interestingly, SIST revealed moderate correlations ($r = 0.453$ to 0.681 ; $p < 0.05$) between 1RM-SQ and ISQT. The $SIST_{rel}$ (relative to body mass), but not SIST, used in the present study showed moderate correlations ($r = 0.508$ to 0.675 ; $p < 0.05$) with the loads needed to reach 10%, 30%, and 50% of V_{loss} during RST. The $SIST_{rel}$ that measures resultant force application in a more sprint-related position explains much of the individual response of each athlete during sprinting towing a sled and can also be used to prescribe and quantify loads in the RST in a more objective and individual manner.

Keywords: team sports; performance; testing; training; speed

1. Introduction

Rugby union is a physically intense intermittent sport in which high-force collisions are common in match-play [1], thus requiring players to possess high levels of strength, power, and speed, regardless

of playing position [2]. In addition, the game is characterized by multiple high-intensity actions (e.g., accelerations and maximum sprints) interspersed by low-intensity efforts [3,4].

In the literature, resisted sprint training (RST) is gaining attention and relevance for training in sports, aiming to improve speed and power. On the other hand, there is a growing amount of research in RST using sleds, although adequate load prescription requires further attention [5]. Harrison & Bourke [6] used 13% of body mass (BM) and 30 m sprints to analyse the effects of RST on speed and lower limbs strength in rugby players, and concluded that RST protocols may be useful to improve acceleration ability. According to Behrens & Simonson [7], the use of an appropriate load would be an important requirement to produce positive adaptations without drastically altering sprint mechanics. Traditionally, absolute loads (kg) or percentage of BM have been used to quantify the load in RST, but these methods do not account for the variability between subjects, the velocity loss, and the performance decrement that it targets with respect to the unloaded sprint [7–9]. Therefore, the percentage of Vloss with respect to the unloaded sprint has been proposed as a more appropriate method to normalize the stimulus applied to each athlete [10–12]. In addition, an athlete's sprint time in a sled-towing exercise is affected by the coefficient of friction of the running surface and by the sled weight [13], making load prescription a more complex issue for practitioners.

In sport and everyday activities, one of the most important attributes of skeletal muscle is the ability to generate power, a product of strength and speed of movement [14]. Research has shown a strong relationship between strength, 20 m sprinting, and jumping performance in athletes and field sports athletes [15,16]. Another study [17] reported that a strong correlation exists between half-squat maximum strength, 30 m sprint performance, and jump height in soccer players. Moreover, a recent study reported that isometric mid-thigh pull (IMTP) variables are significantly associated with strength, agility, and sprint in rugby union players [2,18]. In contrast, the authors of [19] reported non-significant correlations between the squat jump (jump height) and 20 m sprint times in male and female rugby players. Nevertheless, it is clear that force production is an integral component to maximal sprinting velocity [20,21]. In rugby players, short sprint performance (5 m) was most strongly related to the proportion of maximal force achieved in the initial phase of isometric squats, while jump height was most strongly related to absolute force in the later phase of the explosive-isometric squats [22].

Strength expressed in both absolute terms and relative to BM has been considered as a critical factor for successful performances in Rugby union [23]. Authors also suggest that heavier athletes could focus on improving their power to BM ratio to positively influence jumping and sprinting abilities [24]. Increasing lower limbs' strength, power, and muscle mass through appropriate resistance training while maintaining or improving speed may be useful to provide players with the underlying performance characteristics to play at an elite level in rugby [25].

However, recent research [18,22] studied explosive-isometric force production during traditional isometric tests (i.e., IMTP and squat), which are in the vertical plane, although sprinting (especially acceleration) is predominantly horizontal in direction. This lack of specificity could be addressed through the design and use of a specific isometric-strength sprint test (SIST). Therefore, to further explore the relationship between dynamic and isometric strength capabilities and sprint performance, it would be relevant to design a specific test to measure resultant force application in a more sprint-related position. As the RST method allows more horizontal force application [8], an isometric strength test performed in a specific position that allows the measurement of horizontally-oriented force could potentially explain, to an important extent, the individual response of each athlete to different RST loading conditions.

In light of the above, it is plausible to infer that an especially designed SIST would correlate not only with sprint performance, but also with the loads needed to achieve 10%, 30%, and 50% Vloss conditions. Therefore, the purpose of this paper was twofold: (1) to investigate the relationship between SIST and unresisted maximum velocity (V_{max}), sprint times across different loading conditions, and the Vloss loads used during RST in rugby players; (2) to analyse the relationships between a structural multiple-joint assessment of strength (isometric and dynamic), jumps, V_{max} , RST sprint times across

different loading conditions, and the Vloss loads used during RST. Given the known relationship between jumping, sprinting velocity, and strength in rugby players, we hypothesized that lower body strength (dynamic and isometric) would correlate to sprint performance.

2. Materials and Methods

2.1. Experimental Approach to the Problem

A descriptive-correlational cross-sectional study was performed. Assessments were conducted on two non-consecutive days, with 72 h of rest to avoid possible interferences caused by fatigue. On the first day, 30 m sprint tests were performed with different loads (i.e., 0%, 20%, 40%, 60%, and 80% BM, randomly applied) in order to obtain an individual linear regression equation able to specify the loads required to achieve each intended Vloss condition (10%, 30%, and 50% of Vloss). On day two, countermovement jump (CMJ), squat jump (SJ), and dynamic (i.e., 1RM Squat) and isometric (i.e., squat and SIST) strength assessments were conducted.

2.2. Participants

Twenty male, healthy, and active amateur rugby players (age: 22.5 ± 5.3 years; height: 1.80 ± 0.05 m; body mass: 80.2 ± 15.2 kg) with more than five years of competitive regional-level experience were involved in the study. The inclusion criteria were as follows: healthy and trained rugby players; no injuries or medical conditions in the last six months; and at least one year of previous experience in resistance and RST. During the research period, participants were required not to engage in any other type of strenuous physical activity, exercise training, or sports competition. All participants rested the day before testing and were asked to attend testing in a fed and hydrated state, similar to their normal practices before training. The study met the ethical standards and was approved by an Institutional Research Ethics Committee (CE031917) and conformed to the recommendations of the Declaration of Helsinki. After being informed of the purpose and experimental procedures, participants signed an informed consent form prior to participation.

2.3. Procedures

Testing on day one was conducted during the evening on an outdoor natural turf rugby pitch in dry weather conditions. Participants used their own training clothes and rugby cleats. Before the assessments, all participants performed a specific standardized warm-up, consisting of 10 min running at low-moderate intensity; 5 min active dynamic stretching; ~4 submaximal CMJs; and ~4 submaximal sprints over 10, 20, and 30 m, ensuring an interval of 90 s rest between each one. After the warm-up, also ensuring a 3 min recovery period, participants performed the unloaded sprints to avoid a possible potentiation effect on the following trials and, subsequently, the other loading conditions in a randomized order. Participants completed the tests at the same time of day. On day two, for jump and strength assessments, participants visited the indoor high-performance center. The order of testing was as follows: firstly the CMJ and SJ assessment, followed by isometric strength testing, which consisted of SIST and isometric squat test (ISQT). Finally, 1RM estimation in the squat exercise (1RM-SQ) was performed. Each testing stage was separated by an 8 min recovery period.

2.3.1. Sprint Test for Individual Regression Equation Computation

Two 30 m sprints for each load condition with ~4 min of rest between trials were performed. Participants started on a two-point stance position, with the front foot 1 m behind a line away from the first timing gate. Photoelectric cells (Microgate, Bolzano, Italy) were placed using a tripod at 1 m height at the starting line and at 5, 10, 20, 25, and 30 m. In addition, a radar gun (Stalker ATS II, Applied Concepts, Richardson, TX, USA) was used to measure instantaneous velocity using a sampling frequency of 47 Hz. The radar was placed 5 m behind the starting line using a tripod at 1 m height. A sled towing device (Power systems, Power sled, weight: 13.4 kg) fixed to the athlete with a belt

close to the centre of mass (CoM) and a 3.5 m long strap attached to the sled was used. Participants were encouraged to run 30 m as fast as possible. The best time in 30 m in each loading condition was used for the subsequent analysis and named as follows: T_{30} (unresisted), $T_{30-20BM}$ (20% BM), $T_{30-40BM}$ (40% BM), $T_{30-60BM}$ (60% BM), and $T_{30-80BM}$ (80% BM). The maximum velocity reached in the unloaded condition and the loads needed to reach 10% Vloss (L10%), 30% Vloss (L30%), and 50% Vloss (L50%) were also used in the analysis. Each participant's load condition was obtained according to their individual regression equation computation.

2.3.2. Jump Tests

Participants performed two vertical jump tests (SJ and CMJ) assessed on a force plate (Kistler 9286BA, Winterthur, Switzerland) sampling at 350 Hz. The variables obtained during these tests were as follows: maximum jump height (JH) and peak power relative to BM (PP_{rel}). The warm-up protocol consisted of 5 min low-intensity jogging, joint mobility, and dynamic stretching; followed by 10 min of non-fatiguing activation and mobilization exercises, including bodyweight lunges and squats; and, finally, two sets of four submaximal repetitions of SJ and CMJ. Participants then performed three CMJ and three SJ with hands on the hips, separated by 15 s and 4 min of recovery between tasks [26]. The highest JH value in each task was kept for the subsequent analysis.

2.3.3. Specific Isometric Strength Test

SIST was performed using a sled towing device (Power systems, Power sled, weight: 13.4 kg) fixed to the athlete with a belt close to the CoM and a 3.5 m long strap attached to the sled. Additionally, the sled was loaded with ~300 kg to prevent it from moving forward. A surface of non-slip material was adhered to the force plates to prevent participants sliding. Resultant mean force (N) was reported as the mean maximum force generated during the three second trial minus the subject's body weight. Mean force in the SIST test was also reported relative to body mass ($SIST_{rel}$). Participants started each repetition from a standing position similar to the starting position of the sprint tests on a force plate (Kistler 9286BA, Winterthur, Switzerland) sampling at 350 Hz (Software, BioWare V5.4.2.0, Kistler Ibérica S.L, Barcelona, Spain). The preferred foot positioned in front with comfortable trunk, thigh, and leg angles. The arms were placed holding a vertical bar (pushing or pulling was not allowed) of the Smith Machine to avoid unnecessary movements during each repetition. Participants were verbally encouraged to perform each repetition by applying maximum force during three seconds, avoiding any movement in the joints at all times. Two repetitions were performed, separated by ~5 min of recovery between each trial. The best trial was used for the subsequent analysis. Figures 1 and 2 shows the pilot tests carried out prior to the data collection.



Figure 1. Model of the pilot tests performed for the specific isometric strength test.



Figure 2. Model of the pilot tests performed for the specific isometric strength test.

2.3.4. Isometric Squat Strength Test

ISQT was performed on a force plate (Kistler 9286BA, Winterthur, Switzerland) sampling at 350 Hz (Software, BioWare V5.4.2.0, Kistler Ibérica S.L, Barcelona, Spain). Participants were positioned on a Smith Machine, holding a maximal isometric contraction for at least three seconds and a knee angle approximately at 90° [18]. Mean force (N) was reported as the mean maximum force generated during the three second trial minus the subject's body weight. Mean force in the ISQT assessment was also reported relative to body mass (ISQT_{rel}). Participants were instructed to push as hard and as fast as they can to ensure that maximum force was achieved. Participants completed two trials and were instructed to get ready and were then given a countdown of "3, 2, 1, push!". Verbal encouragement was provided during the trials. Two repetitions were performed, separated by ~5 min of recovery between each trial. The best trial was used for the subsequent analysis.

2.3.5. Squat 1RM Estimation

After a 10 min rest, participants completed an incremental load test for 1RM estimation in squat exercise (1RM-SQ), using a validated linear position transducer (Chronojump, Boscosystem, Barcelona, Spain) [27]. The 1RM estimation was based on the equation previously reported [28]. Owing to the very close relationship ($R^2 = 0.95$) between %1RM and mean propulsive velocity (MPV) in the full squat exercise, the 1RM was estimated from the MPV attained against the heaviest load of the test, as follows: $\%1RM = -5.961 \cdot MPV^2 - 50.71 \cdot MPV + 117.0$ (SEE = 4.0% 1RM) [29]. Assessment was performed on a Smith Machine with the barbell resting on the upper part of the back and started with a deep flexion of the lower limbs until the thigh surpassed the horizontal with respect to the ground. Participants were instructed to perform concentric actions at maximal velocity and were not allowed to jump or take the bar off the shoulders. The initial load in the squat was set at 40 kg for all participants and gradually increased by 5–10 kg. Three repetitions were executed with each load with an interval of 3 min rest between each set. When participants reached an average mean propulsive velocity close to $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, the test ended and the 1RM was estimated. Once 1RM-SQ was estimated, relative to BM strength in squat (1RM-SQ_{rel}) was also used in the analysis.

2.4. Statistical Analysis

Standard statistical methods were used for the calculation of means and standard deviations (SD). Shapiro–Wilk test was used to analyse if the values were normally distributed. In the case of non-normality, Spearman correlations were used for these variables. Intraclass correlation coefficient (ICC) and the coefficient of variation (CV) with a confidence interval of the ICC at 95% were calculated

to provide the reliability of all measurements. Acceptable reliability was determined at an ICC ≥ 0.8 and a CV $\leq 10\%$ [29]. Relationships between jump, strength, and sprint variables were determined by Pearson product-moment correlation. The r values were interpreted as weak (≤ 0.39), moderate (≥ 0.40 – 0.69), or strong (≥ 0.70) [30]. Significance level was set at $p \leq 0.05$. All statistical analyses were performed using SPSS software (version 21.0; SPSS, IBM Corp., Armonk, NY, USA).

3. Results

The results of the reliability analysis showed acceptable reliability for CMJ and SJ height (ICC: 0.949–0.988 and CV: 2.84%–6.10%), ISQT (ICC: 0.941 and CV: 9.64%), SIST (ICC: 0.953 and CV: 7.07%). Regarding reliability for sprint times, the results showed acceptable reliability for T5 (unloaded, ICC: 0.933 and CV: 1.81%) and T30 (unloaded, ICC: 0.933 and CV: 1.77%). Regarding normality test, the results showed T₃₀-40BM, T₃₀-80BM, 1RM-SQ, ISQT_{rel}, SIST, and SIST_{rel} were not normally distributed ($p < 0.05$). All other measures in the present study were deemed normal ($p > 0.05$). Descriptive results are presented in Table 1.

Table 1. Descriptive statistics for jumps, strength, and sprint assessments.

CMJ (cm)	SJ (cm)	CMJ PP _{rel} (W·kg ^{−1})	SJ PP _{rel} (W·kg ^{−1})
33.36 ± 6.28	30.09 ± 5.16	51.48 ± 6.67	49.65 ± 6.64
1RM-SQ (kg)	1RM-SQ _{rel} (kg·kg ^{−1})	ISQT _{rel} (N·kg ^{−1})	ISQT (N)
113.90 ± 23.73	1.41 ± 0.19	20.38 ± 4.68	1650.49 ± 521.97
SIST _{rel} (N·kg ^{−1})	SIST (N)	T ₃₀ (s)	T ₃₀ -20BM (s)
12.70 ± 1.76	1017.93 ± 246.66	4.32 ± 0.24	5.32 ± 0.42
T ₃₀ -40BM (s)	T ₃₀ -60BM (s)	T ₃₀ -80BM (s)	L10% (kg)
6.45 ± 0.67	7.78 ± 1.00	10.30 ± 1.52	9.53 ± 1.36
L30% (kg)	L50% (kg)	VMax (m·s ^{−1})	-
31.38 ± 2.93	53.23 ± 4.99	8.19 ± 0.55	-

CMJ: countermovement jump; SJ: squat jump; PP_{rel}: peak power relative to body mass (BM); 1RM-SQ: 1RM estimated in the squat exercise; 1RM-SQ_{rel}: 1RM relative to BM; ISQT_{rel}: isometric squat test relative to body mass; ISQT: isometric squat test; SIST_{rel}: specific isometric-strength test relative to BM; SIST: specific isometric-strength test; T₃₀: unresisted 30 m sprint times; T₃₀-20BM: 30 m sprint times during sled towing with 20% BM; T₃₀-40BM: 30 m sprint times during sled towing with 40% BM; T₃₀-60BM: 30 m sprint times during sled towing with 60% BM; T₃₀-80BM: 30 m sprint times during sled towing with 80% BM; L10%: load needed to reach a 10% velocity loss; L30%: load needed to reach a 30% velocity loss; L50%: load needed to reach a 50% velocity loss; Vmax: maximum velocity reached in the unloaded condition.

Regarding the correlations between sprint times and loads and the variables obtained after the assessments (Table 2), the results showed moderate to strong correlations between jump height in CMJ and SJ and 1RM-SQ_{rel} (only CMJ), unresisted and RST sprint times, and Vmax (0.510, $p < 0.05$ to 0.905, $p < 0.001$). Jump height in SJ showed moderate correlations between L10% and L30%. Regarding strength variables, 1RM-SQ moderate to strong correlations were revealed between jump height in SJ and 1RM-SQ_{rel}, ISQT, and ISQT_{rel} (0.501, $p < 0.05$ to 0.761, $p < 0.001$). No correlations were found between strength variables and RST loads, and only L10% demonstrated a statistically significant and moderate correlation with ISQT. In addition, all three loads were correlated with each other (0.565, $p = 0.009$ to 0.982, $p < 0.001$). Regarding unresisted and RST sprint times, L10% showed moderate to strong correlations between Vmax, T₃₀, and T₃₀ under all loading conditions (0.482, $p < 0.05$ and 0.724, $p < 0.001$).

Table 2. Correlation matrix between jumps, strength, and sprint variables obtained after the assessments in male rugby players.

Variables	Correlations													
	Jumps		Strength				RST Loads			Unresisted and RST Times				
	CMJ	SJ	1RM-SQ	1RM-SQ _{rel}	ISQT _{rel}	ISQT	L10%	L30%	L50%	VMAX	T ₃₀	T ₃₀ -20BM	T ₃₀ -40BM	T ₃₀ -60BM
SJ	0.905 **	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1RM-SQ	-0.186	-0.262	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1RM-SQ _{rel}	0.510 *	0.345	0.501 *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ISQT _{rel}	0.198	-0.014	0.605 **	0.633 **	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ISQT	0.132	-0.116	0.761 **	0.423	0.868 **	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L10%	0.362	0.566 **	-0.369	-0.043	-0.444	-0.553 *	-	-	-	-	-	-	-	-
L30%	0.370	0.446 *	-0.146	0.073	-0.143	-0.302	0.712 **	-	-	-	-	-	-	-
L50%	0.336	0.370	-0.159	0.097	-0.128	-0.204	0.564 **	0.981 **	-	-	-	-	-	-
VMAX	0.747 **	0.795 **	-0.170	0.447 *	-0.014	-0.209	0.559 *	0.324	0.228	-	-	-	-	-
T ₃₀	-0.734 **	-0.787 **	0.084	-0.534 *	0.059	0.168	-0.560 *	-0.342	-0.249	-0.977 **	-	-	-	-
T ₃₀ -20BM	-0.671 **	-0.744 **	0.090	-0.379	0.053	0.307	-0.724 **	-0.414	-0.288	-0.944 **	0.933 **	-	-	-
T ₃₀ -40BM	-0.688 **	-0.645 **	0.183	-0.362	0.036	0.241	-0.638 **	-0.399	-0.409	-0.709 **	0.691 **	0.776 **	-	-
T ₃₀ -60BM	-0.655 **	-0.728 **	0.210	-0.336	-0.059	0.279	-0.672 **	-0.633 **	-0.561 *	-0.839 **	0.800 **	0.787 **	0.695 **	-
T ₃₀ -80BM	-0.833 **	-0.689 **	0.153	-0.340	-0.028	0.126	-0.482 *	-0.485 *	-0.505 *	-0.761 **	0.680 **	0.815 **	0.675 **	0.638 **

* Correlation is significant at the 0.05 level. ** Correlation is significant at the 0.01 level. BM: body mass; CMJ: countermovement jump; SJ: squat jump; 1RM-SQ: 1 RM estimated in the squat exercise; 1RM-SQ_{rel}: 1RM relative to BM; ISQT_{rel}: isometric squat test relative to body mass; ISQT: isometric squat test; L10%: load needed to reach a 10% velocity loss; L30%: load needed to reach a 30% velocity loss; L50%: load needed to reach a 50% velocity loss; Vmax: maximum velocity reached in the unloaded condition. T₃₀: unresisted 30 m sprint times; T₃₀-20BM: 30 m sprint times during sled towing with 20% BM; T₃₀-40BM: 30 m sprint times during sled towing with 40% BM; T₃₀-60BM: 30 m sprint times during sled towing with 60% BM; T₃₀-80BM: 30 m sprint times during sled towing with 80% BM.

Correlations between the SIST and $SIST_{rel}$ and the remaining variables are presented separately in Table 3. Interestingly, SIST revealed moderate correlations ($p < 0.001$) between 1RM-SQ and ISQT. The $SIST_{rel}$, but not SIST, used in the present study showed moderate correlations with the loads needed to reach 10%, 30%, and 50% of Vloss during RST (Figures 3–5).

Table 3. Correlations between the SIST and $SIST_{rel}$, jumps, strength, and sprint variables obtained after the assessments.

Variables	$SIST_{rel}$			SIST		
	Correlations	p-Value	Description	Correlations	p-Value	Description
CMJ (cm)	0.211	0.373	weak	−0.328	0.158	weak
SJ (cm)	0.284	0.225	weak	−0.299	0.200	weak
CMJ-PP _{rel} (W·kg ^{−1})	0.290	0.214	weak	−0.221	0.349	weak
SJ-PP _{rel} (W·kg ^{−1})	0.293	0.210	weak	−0.281	0.231	weak
1RM-SQ (kg)	0.210	0.930	weak	0.674	<0.001 **	moderate
1RM-SQ _{rel} (kg·kg ^{−1})	−0.039	0.870	weak	−0.023	0.925	weak
ISQT _{rel} (N·kg ^{−1})	−0.071	0.767	weak	0.349	0.122	weak
ISQT (N)	−0.027	0.910	weak	0.681	<0.001 **	moderate
$SIST_{rel}$ (N·kg ^{−1})	−	−	−	0.453	0.045 *	moderate
SIST (N)	0.453	0.045 *	moderate	−	−	−
L10% (kg)	0.508	0.022 *	moderate	−0.302	0.195	weak
L30% (kg)	0.675	<0.001 **	moderate	−0.008	0.975	weak
L50% (kg)	0.645	0.002 **	moderate	−0.021	0.930	weak
VMax (m·s ^{−1})	0.049	0.838	weak	−0.315	0.176	weak
T ₃₀ (s)	−0.120	0.613	weak	0.269	0.252	weak
T _{30-20%BM} (s)	0.014	0.952	weak	0.358	0.121	weak
T _{30-40%BM} (s)	−0.046	0.848	weak	0.453	0.045 *	moderate
T _{30-60%BM} (s)	−0.310	0.184	weak	0.239	0.310	weak
T _{30-80%BM} (s)	−0.037	0.877	weak	0.377	0.101	weak

* Correlation is significant at the 0.05 level; ** correlation is significant at the 0.01 level. BM: body mass; CMJ: countermovement jump; SJ: squat jump; PP_{rel}: peak power relative to BM; 1RM-SQ: 1 RM estimated in the squat exercise; 1RM-SQ_{rel}: 1RM relative to BM; ISQT_{rel}: isometric squat test relative to body mass; ISQT: isometric squat test; $SIST_{rel}$: specific isometric strength test relative to BM; SIST: specific isometric strength test; L10%: load needed to reach a 10% velocity loss; L30%: load needed to reach a 30% velocity loss; L50%: load needed to reach a 50% velocity loss; Vmax: maximum velocity reached in the unloaded condition. T₃₀: unresisted 30 m sprint times; T_{30-20BM}: 30 m sprint times during sled towing with 20% BM; T_{30-40BM}: 30 m sprint times during sled towing with 40% BM; T_{30-60BM}: 30 m sprint times during sled towing with 60% BM; T_{30-80BM}: 30 m sprint times during sled towing with 80% BM.

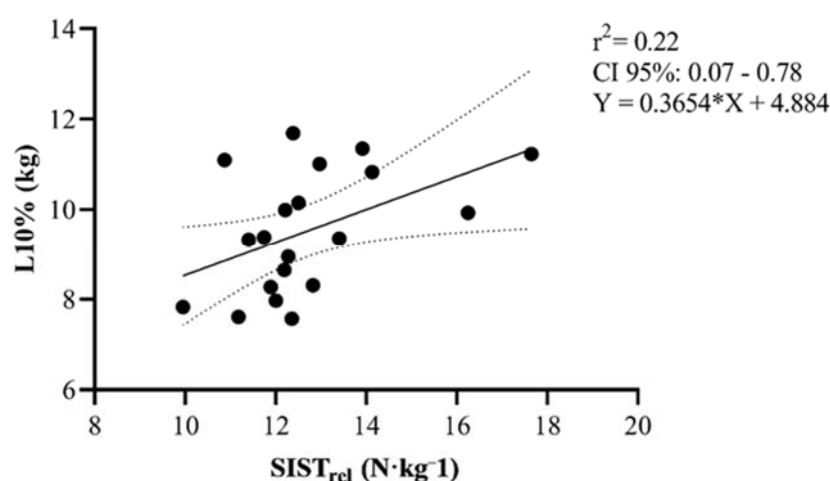


Figure 3. Scatter plot correlative findings between specific isometric-strength test relative to body mass (BM) ($SIST_{rel}$) (N·kg^{−1}) and the load needed to reach 10% Vloss during resisted sprinting among male rugby players. Dashed line demonstrates 95% confidence interval (CI).

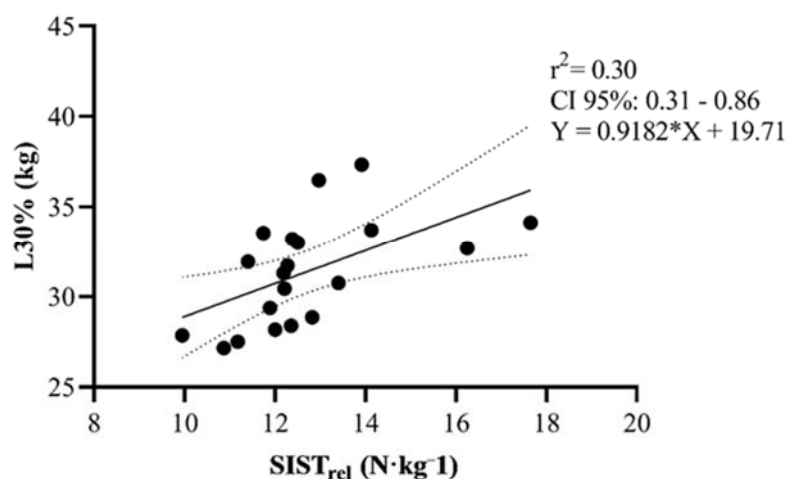


Figure 4. Scatter plot correlative findings between $SIST_{rel}$ ($N \cdot kg^{-1}$) and the load needed to reach 30% Vloss during resisted sprinting among male rugby players. Dashed line demonstrates 95% CI.

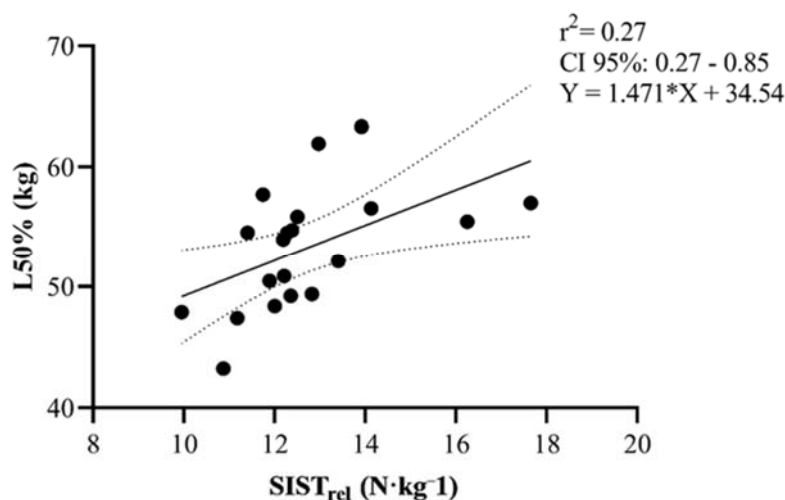


Figure 5. Scatter plot correlative findings between $SIST_{rel}$ ($N \cdot kg^{-1}$) and the load needed to reach 50% Vloss during resisted sprinting among male rugby players. Dashed line demonstrates 95% CI.

4. Discussion

The aims of the present study were to explore the relationships between $SIST$ and unresisted maximum velocity (V_{max}), sprint times across different loading conditions, and the Vloss loads used during RST in rugby players. In line with our hypothesis, this study showed that the $SIST_{rel}$ designed for the present study is significantly correlated to the loads needed to reach 10%, 30%, and 50% of Vloss during RST. The present findings reveal that $SIST_{rel}$ is a reliable test, and it is able to specifically measure a more horizontally-oriented force application, explaining much of the individual response of each athlete during RST. The $SIST_{rel}$ can also be used to prescribe and quantify loads in RST, objectively and individually.

The loads needed to reach 10% and 30% Vloss during RST demonstrated moderate correlations to SJ height. Overall, these correlations decreased as the loads increased. Moreover, moderate to strong correlations were found between V_{max} , SJ, and CMJ (jump height), although V_{max} was not associated to $SIST$ or $SIST_{rel}$. In addition, important correlations were found between jump height in both jump tasks and unresisted and RST times across all loading conditions (relative to BM).

Applying force in the horizontal direction may be beneficial for improving short sprint performance in professional rugby league players [31]. In the present study, important correlations were found

between the loads needed to reach 10%, 30%, and 50% of V_{loss} , sprint, and jump variables. Our results indicate that V_{max} showed moderate to strong correlations with JH in both jumps, which is in line with those found in elite sprinters [26], track and field athletes [32], professional rugby league players [33], and rugby union players [34]. These findings are supported not only by the fact that jump height was correlated to V_{max} , but also because unresisted and RST times (i.e., $T_{30.20BM}$, $T_{30.40BM}$, $T_{30.60BM}$, $T_{30.80BM}$) were strongly correlated to both jumping tasks and V_{max} . In contrast, a recent study in elite rugby players [19] reported no significant correlations between sprint times and jump height. The most noticeable difference between sprinting and jumping is that the former requires the resultant force and power to be more horizontally directed, while the latter requires a vertical orientation of the abovementioned variables [35]. Nevertheless, in the later phases of sprint, where the athletes are running close to or at V_{max} , vertically oriented tasks (i.e., jumping) seem to be closely associated [32]. These findings have useful implications for practitioners in the way that JH and V_{max} could be used not only to identify talent and monitor training, but also as resistance training strategies, where the aim should be placed on maximizing jumping ability and, hence, sprint performance.

Regarding RST loads, the present findings demonstrated that JHs in SJ, but not CMJ, were moderately correlated to L10% and L30%, but not to L50%, and this association decreased as a function of load increment. Previous research [36] reported that the increase in loads involves a decrease in sprint performance over 20 m when athletes sprinted under different conditions (unresisted and towing sleds with loads between 5% and 30% BM). The present findings suggest that, when sprinting with heavier loads, the variables that correlate with performance are different than when sprinting under unloaded conditions. This confirms that heavy sled training is quite different than unloaded sprint. In addition, JH during jumping is the variable that better explains much of the individual response of each athlete during unloaded and loaded sprinting with regards to times and V_{max} . These results suggest that faster rugby players in the present study may possibly achieve greater CMJ and SJ heights.

Regarding the relationship between strength measures during 1RM-SQ and ISQT; V_{max} ; and the loads needed to reach 10%, 30%, and 50% of V_{loss} , the present findings showed that both strength tests are moderately correlated to each other, although no significant correlations were found with sprint variables. In fact, only $1RM-SQ_{rel}$ was shown to be moderately correlated with V_{max} . In contrast to these results, a recent study in rugby players showed that measures of strength and power can be used to predict short sprint performance [37]. This suggests that traditional strength measures may be used to explain unloaded sprint performance, but not V_{max} or the loads needed to reach a percentage of V_{loss} during RST. Additionally, the moderate correlations found between sprint and strength measures could be, in part, because of the homogenous sample, when considering that participants were all amateur rugby players.

To the authors' knowledge, this is the first study to design a body-position specific test and investigate how it relates to athletes performance during unloaded and RST. An important finding in the present study is that both isometric tests (ISQT, SIST, and $SIST_{rel}$) are moderately correlated to each other, and most importantly, $SIST_{rel}$ showed moderate correlations to L10%, L30%, and L50%, but not to V_{max} . This could be explained by the fact that isometric strength measures only correlate with sprint performance during the acceleration phase [18], but not to the later phases of the sprint. This information could help coaches to identify appropriate tests to monitor training effects, prescribing loads for RST, and to better assess an athlete's specific strength–speed profile, which would help in future program design. Moreover, moderate to strong correlations were found between all loads, while L10% was the only load correlated to V_{max} . As mentioned above, limiting factors of unloaded sprint performance seem to be quite different than those that determine heavy sled sprint performance.

There are some potential limitations to the current study, as future research should focus on test validation regarding SIST. The authors also highlight the fact that there was no familiarisation period previous to data collection and that no standardized angle position was used in SIST; however, all players were instructed to position themselves in a comfortable and adequate position, similar to that adopted during sprint starts. Along these lines, further studies with a larger sample of players

and higher level population would be useful to investigate the potential effects of this novel test on the findings of the current study. The authors acknowledge that this study is the first step towards enhancing our understanding of the relationship between strength and sprint measures and the loads needed to reach a percentage of velocity loss during RST.

This study shows the relevance of performance in jumping tasks such as SJ, CMJ, and lower-body dynamic and isometric strength to performance in unloaded sprints (V_{max}); RST sprint times; and the loads needed to reach 10%, 30%, and 50% of V_{loss} . Coaches and practitioners could better understand the training variables affecting sprint performance by including the $SIST_{rel}$ in the assessment of strength-related capabilities. Indeed, as many factors influence the muscle's ability to generate power, training for muscular power requires special care in developing the proper exercise prescription [14]. For coaches and practitioners involved in rugby, this test may be used to determine the athletes' ability to tolerate RST loads during sprint-specific training and to design training sessions for developing rugby players' specific lower body strength and power, which in turn could positively enhance sprint speed performance. It is recommended that future work should focus on replicating the specific isometric test and also consider that participants are set in the correct position (body position similar to a sprint start) and to avoid at all times any movement in the joints.

5. Conclusions

The $SIST_{rel}$ that measures resultant force application in a more sprint-related position explains much of the individual response of each athlete during sprinting towing a sled and can also be used to prescribe and quantify loads in the RST in a more objective and individual manner. Moreover, moderate to strong correlations were found between V_{max} , SJ, and CMJ (height), although V_{max} was not associated to $SIST$ or $SIST_{rel}$.

Author Contributions: Conceptualization, S.Z., F.P.-B., T.T.F., P.E.A., J.C.-V., L.P., J.G.-G., T.C. and I.L.; Methodology, S.Z., F.P.-B., T.T.F., P.E.A., J.C.-V. and I.L.; Software, S.Z., T.T.F., P.E.A. and J.C.-V. Validation, S.Z., T.T.F., P.E.A. and J.C.-V.; Formal analysis S.Z., T.T.F., P.E.A. and J.C.-V.; Investigation, S.Z., F.P.-B., T.T.F., P.E.A., L.P., J.C.-V., J.G.-G. and I.L.; Resources, S.Z., T.T.F., P.E.A. and J.C.-V.; Data Curation, S.Z., T.T.F., P.E.A. and J.C.-V.; Writing—Original Draft Preparation, S.Z.; Writing—Review and Editing, S.Z., F.P.-B., T.T.F., P.E.A., J.C.-V., J.G.-G., L.P., T.C. and I.L.; Visualization, S.Z., F.P.-B., T.T.F., P.E.A., J.C.-V., J.G.-G., L.P., T.C. and I.L.; Supervision, P.E.A., J.G.-G., I.L. and T.C.; Project Administration, P.E.A., J.G.-G., I.L. and T.C. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Acknowledgments: Authors would like to thank rugby clubs and players for their support and cooperation in the present project.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Lindsay, A.; Draper, N.; Lewis, J.; Gieseg, S.P.; Gill, N. Positional demands of professional rugby. *Eur. J. Sport Sci.* **2015**, *15*, 480–487. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
2. Wang, R.; Hoffman, J.R.; Tanigawa, S.; Miramonti, A.A.; La Monica, M.B.; Beyer, K.S.; Church, D.D.; Fukuda, D.H.; Stout, J.R. Isometric mid-thigh pull correlates with strength; sprint; and agility performance in collegiate rugby union players. *J. Strength Cond. Res.* **2016**, *30*, 3051–3056. [[CrossRef](#)]
3. Chiwaridzo, M.; Ferguson, G.D.; Smits-Engelsman, B.C.M. A systematic review protocol investigating tests for physical or physiological qualities and game-specific skills commonly used in rugby and related sports and their psychometric properties. *Syst. Rev.* **2016**, *5*, 122. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. Cross, M.R.; Brughelli, M.; Brown, S.R.; Samozino, P.; Gill, N.D.; Cronin, J.B.; Morin, J.B. Mechanical properties of sprinting in elite rugby union and rugby league. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2015**, *10*, 695–702. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
5. McMorrow, B.J.; Ditroilo, M.; Egan, B. Effect of heavy resisted sled sprint training during the competitive season on sprint and change-of-direction performance in professional soccer players. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2019**, *14*, 1066–1073. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

6. Harrison, A.J.; Bourke, G. The effect of resisted sprint training on speed and strength performance in male rugby players. *J. Strength Cond. Res.* **2009**, *23*, 275–283. [\[CrossRef\]](#)
7. Behrens, M.J.; Simonson, S.R. A comparison of the various methods used to enhance sprint speed. *Strength Cond. J.* **2011**, *33*, 64–71. [\[CrossRef\]](#)
8. Petrakos, G.; Morin, J.-B.; Egan, B. Resisted sled sprint training to improve sprint performance: A systematic review. *Sport Med.* **2016**, *46*, 381–400. [\[CrossRef\]](#)
9. Martínez-Valencia, M.A.; Romero-Arenas, S.; Elvira, J.L.L.; González-Ravé, J.M.; Navarro-Valdivielso, F.; Alcaraz, P.E. Effects of sled towing on peak force, the rate of force development and sprint performance during the acceleration phase. *J. Hum. Kinet.* **2015**, *46*, 139–148. [\[CrossRef\]](#)
10. Alcaraz, P.E.; Carlos-Vivas, J.; Oponjuru, B.O.; Martínez-Rodríguez, A. The effectiveness of resisted sled training (rst) for sprint performance: A systematic review and meta-analysis. *Sport Med.* **2018**, *48*, 2143–2165. [\[CrossRef\]](#)
11. Bachero-Mena, B.; González-Badillo, J.J. Effects of resisted sprint training on acceleration with three different loads accounting for 5, 12.5, and 20% of body mass. *J. Strength Cond. Res.* **2014**, *28*, 2954–2960. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
12. Alcaraz, P.E.; Elvira, J.L.L.; Palao, J.M. Kinematic, strength, and stiffness adaptations after a short-term sled towing training in athletes. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2014**, *24*, 279–290. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
13. Linthorne, N.P.; Cooper, J.E. Effect of the coefficient of friction of a running surface on sprint time in a sled-towing exercise. *Sport Biomech.* **2013**, *12*, 175–185. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
14. Kraemer, W.J.; Newton, R.U. Training for muscular power. *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.* **2000**, *11*, 341–368. [\[CrossRef\]](#)
15. Bachero-Mena, B.; Pareja-Blanco, F.; Rodríguez-Rosell, D.; Yáñez-García, J.M.; Mora-Custodio, R.; González-Badillo, J.J. Relationships between sprint, jumping and strength abilities, and 800 m performance in male athletes of national and international levels. *J. Hum. Kinet.* **2017**, *58*, 187–195. [\[CrossRef\]](#)
16. Comfort, P.; Stewart, A.; Bloom, L.; Clarkson, B. Relationships between strength, sprint, and jump performance in well-trained youth soccer players. *J. Strength Cond. Res.* **2014**, *28*, 173–177. [\[CrossRef\]](#)
17. Wisløff, U.; Castagna, C.; Helgerud, J.; Jones, R.; Hoff, J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br. J. Sports Med.* **2004**, *38*, 285–288. [\[CrossRef\]](#)
18. Brady, C.J.; Harrison, A.J.; Flanagan, E.P.; Haff, G.G.; Comyns, T.M. The relationship between isometric strength and sprint acceleration in sprinters. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2019**, *1*, 1–8. [\[CrossRef\]](#)
19. Jiménez-Reyes, P.; Samozino, P.; García-Ramos, A.; Cuadrado-Peñafiel, V.; Brughelli, M.; Morin, J.-B. Relationship between vertical and horizontal force-velocity-power profiles in various sports and levels of practice. *PeerJ* **2018**, *6*, e5937. [\[CrossRef\]](#)
20. McBride, J.M.; Blow, D.; Kirby, T.J.; Haines, T.L.; Dayne, A.M.; Triplett, N.T. Relationship between maximal squat strength and five, ten, and forty-yard sprint times. *J. Strength Cond. Res.* **2009**, *23*, 1633–1636. [\[CrossRef\]](#)
21. Suchomel, T.J.; Nimphius, S.; Stone, M.H. The importance of muscular strength in athletic performance. *Sport Med.* **2016**, *46*, 1419–1449. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
22. Tillin, N.A.; Pain, M.T.G.; Folland, J. Explosive force production during isometric squats correlates with athletic performance in rugby union players. *J. Sports Sci.* **2013**, *31*, 66–76. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
23. Duthie, G.M. A framework for the physical development of elite rugby union players. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2006**, *1*, 2–13. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
24. Jalilvand, F.; Banoocy, N.K.; Rumpf, M.C.; Lockie, R.G. Relationship between body mass, peak power, and power-to-body mass ratio on sprint velocity and momentum in high-school football players. *J. Strength Cond. Res.* **2018**, *33*, 1871–1877. [\[CrossRef\]](#)
25. Baker, D.G.; Newton, R.U. Comparison of lower body strength, power, acceleration, speed, agility, and sprint momentum to describe and compare playing rank among professional rugby league players. *J. Strength Cond. Res.* **2008**, *22*, 153–158. [\[CrossRef\]](#)
26. Loturco, I.; D'Angelo, R.A.; Fernandes, V.; Gil, S.; Kobal, R.; Abad, C.C.C.; Kitamura, K.; Nakamura, F.Y. Relationship between sprint ability and loaded/unloaded jump tests in elite sprinters. *J. Strength Cond. Res.* **2015**, *29*, 758–764. [\[CrossRef\]](#)
27. Vivancos, A.; Zambudio, A.; Ramírez, F.; Del Águila, A.; Castrillón, F.; Pardo, P. OC14 Reliability and validity of a linear position transducer for strength assessment. *Br. J. Sports Med.* **2014**, *48*, A5. [\[CrossRef\]](#)

28. Sánchez-Medina, L.; Pallarés, J.; Pérez, C.; Morán-Navarro, R.; González-Badillo, J.J. Estimation of relative load from bar velocity in the full back squat exercise. *Sport Med. Int. Open* **2017**, *1*, E80–E88. [[CrossRef](#)]
29. Hopkins, W.G. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med.* **2000**, *30*, 1–15. [[CrossRef](#)]
30. Cohen, J.; Cohen, P.; West, S.G.; Aiken, L.S. *Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioural Sciences*, 3rd ed.; Routledge: New York, NY, USA, 2013.
31. De Lacey, J.; Brughelli, M.E.; McGuigan, M.R.; Hansen, K.T. Strength, speed and power characteristics of elite rugby league players. *J. Strength Cond. Res.* **2014**, *28*, 2372–2375. [[CrossRef](#)]
32. Loturco, I.; Contreras, B.; Kobal, R.; Fernandes, V.; Moura, N.; Siqueira, F.; Winckler, C.; Suchomel, T.; Pereira, L.A. Vertically and horizontally directed muscle power exercises: Relationships with top-level sprint performance. *PLoS ONE* **2018**, *13*, e0201475. [[CrossRef](#)]
33. Cronin, J.; Hansen, K. Strength and power predictors of sport speed. *J. Strength Cond. Res.* **2005**, *19*, 349–357.
34. Cunningham, D.; West, D.; Owen, N.; Shearer, D.; Finn, C.; Bracken, R.; Crewther, B.T.; Scott, P.; Cook, C.J.; Kilduff, L.P. Strength and power predictors of sprinting performance in professional rugby players. *J. Sports Med. Phys. Fitness* **2013**, *53*, 105–111.
35. Hansen, K.T.; Cronin, J.B.; Pickering, S.L.; Douglas, L. Do force–time and power–time measures in a loaded jump squat differentiate between speed performance and playing level in elite and elite junior rugby union players? *J. Strength Cond. Res.* **2011**, *25*, 2382–2391. [[CrossRef](#)]
36. Martínez-Valencia, M.A.; González-Ravé, J.M.; Santos-García, D.J.; Alcaraz, P.E.; Navarro-Valdivielso, F. Interrelationships between different loads in resisted sprints, half-squat 1 RM and kinematic variables in trained athletes. *Eur. J. Sport Sci.* **2014**, *14*, 37–41. [[CrossRef](#)]
37. Furlong, L.M.; Harrison, A.J.; Jensen, R.L. Measures of strength and jump performance can predict 30-m sprint time in rugby union players. *J. Strength Cond. Res.* **2019**. [[CrossRef](#)]



© 2020 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

SCISPO - Your Submission



From [Science & Sports](#) on 2020-06-02 05:51

 Detalles  Sólo texto

Ms. Ref. No.: SCISPO-D-20-00154R1
Title: Determinant Factors of Physical Performance in Specific Rugby Playing Positions
Science et Sports

Dear Mr. Santiago Zabalo,

I am pleased to confirm that your paper "Determinant Factors of Physical Performance in Specific Rugby Playing Positions" has been accepted for publication in Science et Sports.

Thank you for submitting your work to this journal.

If you are available to continue to work with the journal as reviewer, we invite you to go to the website <http://ees.elsevier.com/scispo>, clic on « change details » and « available as a reviewer », and precise your specialty. The editorial board thank you in advance.

With kind regards,

Jean-Frédéric Brun, MD, PhD, Hab Dir Res
Editor / Redacteur
Science et Sports

Comments from the Editors and Reviewers:

In compliance with data protection regulations, you may request that we remove your personal registration details at any time. ([Remove my information/details](#)). Please contact the publication office if you have any questions.

Category of paper: Original research

Title: Determinant factors of physical performance in specific rugby playing positions

Short Title: Physical performance in rugby players

Titre: Facteurs Déterminants de la Performance Physique dans des Positions de Jeu de Rugby Spécifiques

Titre abrégé: Performance physique chez les joueurs de rugby

Authors: Zabaloy S.^{1,2}, Pareja Blanco F.³, Carlos-Vivas J.⁴, Gálvez González J.²

Institutional Affiliations:

¹ *Faculty of Physical Activity and Sports, University of Flores, Buenos Aires, Argentina*

² *Faculty of Sports Sciences, Pablo de Olavide University, Seville, Spain*

³ *Physical and Athletic Performance Research Centre, Department of Sport, Pablo de Olavide University, Seville, Spain*

⁴ *Health, Economy, Motricity and Education Research Group (HEME), Faculty of Sports Sciences, Extremadura University, Caceres, Spain*

Corresponding author: Santiago Zabaloy, Faculty of Sports Sciences, Pablo de Olavide University, Seville, Spain. Faculty of Physical Activity and Sports, University of Flores, Buenos Aires, Argentina Tel: (+54) 11 4405 9303; E-mail (institutional): cszab1@alu.upo.es; E-mail (optional): santiagozabaloy@hotmail.com

Title: Determinant Factors of Physical Performance in Specific Rugby Playing Positions

ABSTRACT

This study aimed to analyze the differences in force-velocity profile and sprint, strength and jump performance according to playing position, and to examine the relationships between these fitness parameters within specific rugby playing positions. Fifty-one male rugby players (27 backs, 24 forwards) were assessed in their force-velocity profile, vertical jumps, 5 and 30 m sprint, and strength in Squat and Bench Press exercises. For a deeper understanding of positional differences, forwards were divided into front row and back five, and backs were split into outside and inside backs. Forwards showed higher body mass and height, greater sprint momentum and higher absolute strength than backs, whereas backs were faster in 5 and 30 m sprints. No significant differences were observed between outside and inside backs for any of the variables analyzed. Front row forwards were significantly heavier than back five, whereas the latter showed higher jump and sprint performance and greater maximum power values than front row. No significant differences were observed between any positions for force-velocity imbalance. No correlations were found between force-velocity imbalance and any physical performance variable regardless of playing position. Maximum power ($r = 0.434$ to **0.855**; $p < 0.05$) and relative strength ($r = 0.404$ to 0.772 ; $p < 0.05$) were the variables that most correlate with jump and sprint performance in forwards and backs. In conclusion, clear differences exist between backs and forwards in strength and sprint performance. Although no differences were observed between specific backs positions, in contrast to the specific forwards positions that showed clear differences in all the physical performance variables. High levels of relative strength and power may be relevant in order to attain high sprinting and jumping performance.

Keywords: *force-velocity profile, performance, speed, strength, team-sports.*

Titre: Facteurs Déterminants de la Performance Physique dans des Positions de Jeu de Rugby Spécifiques

RÉSUMÉ

Cette étude visait à analyser les différences de profil force-vitesse et de sprint, de force et de performance de saut en fonction de la position de jeu, et à examiner les relations entre ces paramètres de fitness dans des positions spécifiques du jeu de rugby. Cinquante et un joueurs masculins de rugby (27 arrières, 24 avants) ont été évalués en fonction de leur profil force-vitesse, des sauts verticaux, des sprints de 5 et 30 m et de la force lors des exercices de Squat et de Développé Couché. Pour une compréhension plus profonde des différences de position, les avants ont été divisés en première ligne, deuxième et troisième ligne, et les arrières ont été divisés en extérieurs et intérieurs. Les avants ont montré une masse corporelle et une hauteur plus élevées, une plus grande dynamique de sprint et une force absolue plus élevée que les arrières, tandis que les arrières étaient plus rapides dans les sprints de 5 et 30 m. Aucune différence significative n'a été observée entre les arrières extérieures et intérieures pour aucune des variables analysées. Les avants de la première ligne étaient beaucoup plus lourds que les autres cinq avants, tandis que ces derniers montraient des performances de saut et de sprint plus élevées et des valeurs de puissance maximale plus élevées que la première ligne. Aucune différence significative n'a été observée entre les positions concernant le déséquilibre force-vitesse. Aucune corrélation n'a été trouvée entre le déséquilibre force-vitesse et toute variable de performance physique, quelle que soit la position de jeu. La puissance maximale ($r = 0.434$ à 0.855 ; $p < 0.05$) et la force relative ($r = 0.404$ à 0.772 ; $p < 0.05$) étaient les variables les plus en corrélation avec les performances de saut et de sprint parmi avants et arrières. En conclusion, il existe des différences claires entre les arrières et les avant en termes de force et de performance au sprint. Bien qu'aucune différence n'ait été observée entre les positions spécifiques des arrières, contrairement aux positions spécifiques des avants qui ont montré des différences claires dans toutes les variables de performance physique. Des niveaux élevés de force et de puissance relatives peuvent être pertinents pour atteindre des performances de sprint et de saut élevées.

Mots-clés: profil force-vitesse, performance, vitesse, force, sports d'équipe.

1. Introduction

Rugby is a physically demanding sport that requires players to perform high intensity and maximal speed actions which are determinant for the final outcome of the game [1–3]. Moreover, the fastest players break the gain line and tackles, evade their defenders, and score tries more frequently [1]. Strength and power are key physical qualities for performance in contact sports such as rugby and American football, and they are also indispensable components in training programs for elite athletes [4,5]. Sprint momentum ([SM], i.e. product of maximal velocity and body mass [BM]) has also been shown to discriminate the playing level in rugby league and playing positions [6,7].

Previous research has pointed out that rugby union potentially accommodates a broader range of body types than many other field sports, with several playing positions associated with particular body morphologies [8]. Positions in rugby are usually named as forwards and backs [9], where forwards take part in scrums and line-outs and backs participate in more open play actions [6]. Regarding athletic performance, backs usually cover greater distances at higher speeds than forwards, both in training and competition [10]. Likewise, several studies have reported significant differences between forwards and backs in different fitness tests [11,12]. Forwards have shown a lower aerobic capacity, and lower performance in sprints and agility than backs [11]. A recent study with Brazilian rugby players showed important differences in favor of backs in aerobic tests, jumping ability, and sprints up to 30 m [13]. However, specific positional differences in fitness testing has not yet been established, although some clear differences exist regarding game demands [9,14]. Both forwards and backs are also categorized in different positional sub-groups as follows: forwards are organized in Front, Second, and Back Row, whereas backs are split into Inside and Outside Backs. Each position has shown specific physical requirements, skills, and tasks [9,15]. More detailed information obtained from fitness testing will allow coaches to design training programs according to the specific game requirements and will enable more effective programs to maximize performance in each playing position.

Force-velocity (Fv) profiling is a simple and novel approach to assess force and velocity production capabilities of athletes during ballistic tasks such as jumping and sprinting [16,17]. It has been postulated that there is an optimal Fv profile that can be precisely determined and represents the balance between force and velocity [18]. Based on this approach, it can be identified whether an athlete is force or velocity deficient in a given task, independent of their

maximum power (P_{max}). In this regard, it has been shown that for a given P_{max} , an imbalance between maximal theoretical force (F_0) and maximal theoretical velocity (V_0) could lead to a 30% loss of jump performance [18]. The loss of performance, depending on the determined imbalance (F_{vimb}), would indicate how far (expressed in %) an athlete is from an optimal Fv profile. Recent research [19] has compared the sprint and jump Fv profiles in more than 500 athletes involved in different sport disciplines such as basketball, futsal, gymnastics, handball, judo, karate, rugby, soccer, and so forth, showing that sprint Fv profiling is a useful tool to distinguish between different sport modalities. However, to our knowledge, the possible differences in the Fv profile, among specific playing positions in rugby, have not been analyzed yet. It would be interesting to provide strength and conditioning professionals reference values for the Fv profile characteristics in the different rugby playing positions.

Relationships between different fitness tests, such as sprinting and jumping, have been widely examined [20–22]. These studies generally revealed significant relationships between traditional jump tests (e.g., squat jump [SJ] and countermovement jump [CMJ]) and sprinting performances. In this regard, strong correlations have been found between sprint and jump performance in female rugby players, indicating that drop jump height had the highest correlation with sprint times in 30 m [23]. In professional male rugby players, both relative strength ($r = -0.55$) and relative power ($r = -0.82$) were negatively correlated with 10 m sprint times [24]. These studies suggest that strength, power, jump, and sprint abilities seem to be interrelated. However, correlations of these parameters within specific playing positions (i.e. forwards and backs) have not been previously analyzed. Moreover, relationships between the mechanical parameters resulting from the Fv profiles (i.e. F_0 , V_0 , P_{max} , and F_{vimb}) and the physical characteristics of rugby players have not been previously investigated. Therefore, this study aimed to examine the differences between specific rugby playing positions in the Fv profile parameters, and sprint, strength, and jump abilities. A secondary aim was to analyze the magnitude of the relationships between these fitness parameters within specific rugby playing positions.

2. Methods

2.1. Experimental Approach to the Problem

This study was performed on three separated days over a 5-day period, with a 48-hour rest in between them, to avoid fatigue. Participants completed physical tests during the winter break in three non-consecutive days during the competitive period. During the first testing session,

each participants was tested for anthropometric characteristics (BM and height), and 30 m sprint. During the second testing session, the vertical Fv profile and CMJ were measured. Finally, in the third testing session, the 1RM strength test in Squat (SQ) and Bench Press (BP) exercises was assessed. Participants were divided into two groups according to playing position (backs and forwards). For a more detailed analysis, groups were further subdivided into: backs, inside backs (IB; n = 16) and outside backs (OB; n = 12); and forwards, front row (FR; n = 13) and back five (BF; n = 11). Players were asked to not perform intense exercise on the day before testing and to consume their last meal at least 3 hours before the scheduled testing time. All sessions were fully supervised by a certified strength and conditioning specialist, and were performed at the same time of the day for each participant.

2.2. Participants

Fifty-one amateur male club rugby players (mean \pm SD: age, 22.9 ± 0.3 years, anthropometric measures provided in **Table 1**) volunteered to participate in this study (backs, n = 27; forwards, n = 24). Participants had a minimum of ten years of playing experience as rugby players and belonged to two club squads that competed in the highest Argentinean rugby division. They normally participated in ~6 weekly training sessions (3 sessions of **resistance training** and speed, and 3-4 rugby sessions) and a weekly competition. No physical limitations or musculoskeletal injuries that could affect testing were reported. The study met the ethical standards and was approved by an Institutional Research Ethics Committee and conformed to the recommendations of the Declaration of Helsinki. After being informed of the purpose and experimental procedures, participants signed a written informed consent form prior to participation.

2.3. Measurements

During the two weeks preceding this study, two preliminary familiarization sessions were undertaken to improve the technique of loaded jumps and SQ and BP exercises. BM was determined using a scale (Seca 710, Seca Ltd., Hamburg, Germany) with the players in a morning fasting state and wearing only underclothes. Before testing, all subjects performed a standardized warm-up consisting of 5-min submaximal running followed by joint mobilization exercises and a specific warm-up for each test.

Sprint speed. Participants performed three 30 m sprints on a rugby pitch (natural turf), with three minutes of recovery between each trial. The warm-up protocol consisted of 5-min of

smooth running, joint mobility, multidirectional displacements, and progressive 10 to 30 m sprints, with an overall duration of 20-min. The test started standing, placing the front foot just behind a line 0.5 m away from the first timing gate. Photoelectric cells (Chronojump, Boscosystem, Barcelona, Spain) were placed at 0, 5, 10, 20, and 30 m. Participants were encouraged to run the 30 m as quickly as possible. Three attempts were recorded in the following distances: 0-5 m (T5) and 0-30 m (T30). Maximal velocity (V_{max}) was calculated by dividing the ratio of 10 m and the fastest 20-30 m split time, and SM was calculated by multiplying the BM of each subject by their respective V_{max} [25]. The best sprint time in each distance was recorded for further analysis. The Intraclass correlation coefficient (ICC) and coefficient of variation (CV) was calculated to provide the relative and absolute reliability. The ICC and CV values for T5 were 0.89 and 0.1%, and for T30 were 0.98 and 0.7%, respectively.

Jump Test and Force-velocity Profile. Jump tests were performed using a portable jump mat (Chronojump, Boscosystem, Barcelona, Spain) as previously indicated [20]. Since take-off and landing positions may affect jump height, participants were instructed to keep their feet extended during the jump until landing. The warm-up protocol consisted of 5-min of low intensity jogging and 10-min of mobilization exercises, including bodyweight lunges and squats, and finally two sets of 4 repetitions of CMJ. Participants performed 5 CMJ with their hands on their hips, squatting to an approximately 90° angle of knee flexion before immediately extending into a maximal vertical jump and separated by 15 s of recovery. Regarding the Fv profile test, lower limbs measurements and mechanical parameters were calculated for all conditions using the method proposed by Samozino [16]. A detailed description of the protocol and testing procedures used in this study has been reported elsewhere [26]. Briefly, it consists of performing SJ jumps, starting from 90° in the knee joint, without any counter-movement. This test was performed with a wooden stick for the unloaded SJ and a barbell for the loaded SJ. Before each jump, participants were instructed to stand up with the stick or barbell on the shoulders with a comfortable handgrip during the whole duration of the movement. Two repetitions with each condition were performed and named as follows: SJ (0 kg), SJ20 (20kg), SJ30 (30kg), SJ40 (40kg), SJ50 (50kg). A recovery interval of 2-min was used between jumps and 4-min between loadings. The highest jump height for each condition was selected for subsequent analysis. The ratio between CMJ and SJ (Ratio CMJ/SJ) was obtained to express the countermovement utilization ratio [27]. ICC and CV for all jumps were the following: CMJ (0.97 and 4.5%), SJ (0.95 and 4.7%), SJ20 (0.95 and 5.2%), SJ30 (0.96 and 4.3%), SJ40 (0.97 and 4.2%), SJ50 (0.95 and 5.5%). The coefficient R^2 of the Fv profile test was $R^2 = 0.94$.

Isoinertial Squat Loading Test. The 1RM strength was estimated for SQ (1RM-SQ) and BP (1RM-BP) exercises using a linear position transducer (Chronojump, Boscosystem, Barcelona, Spain) for monitoring lifting velocity [28]. The assessment began after a specific warm up protocol used previously [29]. Both exercises were performed in free-weights (barbells) and the vertical displacement of the bar in each repetition was verified. The subjects performed the full squat from an upright position, descending at a controlled velocity ($\sim 0.50\text{--}0.70\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) until the thigh surpassed the horizontal, with respect to the ground with the barbell resting on the upper part of the back. The subjects were instructed to perform concentric actions at maximal velocity and were not allowed to jump or take the bar off of the shoulders. The initial load in the SQ was set at 40 kg and gradually increased by 5-10 kg. Three repetitions were performed with each load with a 3-min rest interval between each set. When subjects reached an average propulsive velocity near $\sim 0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, the test concluded and the 1RM was estimated from the velocity attained against the heaviest load using the formula provided for SQ [29]. BP was performed starting from a complete extension of the elbows until the barbell touched the chest. To avoid bouncing, a pause of $\sim 1\text{ s}$ between the eccentric and concentric phase was interposed. The initial load of the test was set at 20 kg and gradually increased by 5-10 kg. Three repetitions were performed with each load with a 3-min rest interval between each set. When participants reached an average propulsive velocity near $\sim 0.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, the test concluded and the 1RM was estimated from the velocity attained with the heaviest load using the formula provided for BP [30]. Once the 1RM values were obtained in each exercise, relative strength values were reported as the ratio between absolute 1RM and BM (SQ/BM and BP/BM).

2.4. Statistical Analysis

Data are presented as mean and standard deviation (SD). The distribution of each variable was verified by the Shapiro-Wilk normality test. Test-retest reliability was measured by the CV and ICC with 95% CI, calculated with the one-way random effects model. A one-way ANOVA was used to examine differences between playing positions. In addition, Cohen's d effect size (ES), with a 90% confidence interval was calculated. Threshold values for Cohen's ES statistics were: > 0.2 small, > 0.6 moderate, > 1.2 large, > 2.0 very large, and > 4.0 nearly perfect [31]. The qualitative assessment was made according to the following thresholds: $< 1\%$, almost certainly not; 1–5%, very unlikely; 5–25%, unlikely; 25–75%, possible; 75–95%, likely; 95–99%, very likely; and $> 99\%$, almost certain [32]. If the chance of obtaining better and poorer scores was $> 5\%$, the true difference was considered unclear. Relationships between variables

were determined using Pearson's correlations (r) or Spearman for the case of non-normality. This analysis was calculated for forwards and backs separately. The r values were interpreted as weak (≤ 0.39), moderate ($\geq 0.40-0.69$), or strong (≥ 0.70) [33]. Statistical significance was established at the $p \leq 0.05$ level. The ES values were calculated using a purpose-built spreadsheet [34]. SPSS (version 24.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) for Microsoft Windows was used for the rest of analysis.

3. Results

Comparisons between backs and forwards are reported in **Table 1**. Forwards demonstrated significantly higher BM and height than backs ($p < 0.001-0.05$). Backs attained significantly better sprint performance (T5, T30, and Vmax) than forwards ($p < 0.001-0.01$), whereas forwards showed higher SM ($p < 0.001$). Regarding maximal strength, forwards showed higher 1RM-SQ ($p = 0.012$) and 1RM-BP ($p = 0.058$) values than backs. No significant differences were observed in relative strength values, although backs showed almost significantly ($p = 0.069$) greater BP/BM than forwards. According to the Fv profile, no significant differences were observed between positions for any variable except for F0, where backs showed higher values than forwards ($p = 0.027$). No significant differences were observed for any jump variable. The ES approach and their respective qualitative interpretation are depicted in **Figure 1a**.

TABLE 1 NEAR HERE

FIGURE 1 NEAR HERE

Comparisons between specific playing positions (backs: OB vs. IB; forwards: FR vs. BF) are reported in **Table 1**. No significant differences were observed between OB and IB for any of the variables analyzed. Likewise, ES showed *unclear* differences between OB and IB for all variables analyzed, except for BM, 1RM-SQ, V0, and Pmax, where IB showed *likely* higher values than OB (**Figure 1b**). Moreover, OB showed *likely* higher Ratio CMJ/SJ than IB. On the other hand, FR showed significantly greater BM than BF ($p = 0.004$), although BF showed a tendency to be taller than FR ($p = 0.071$). BF showed better sprint performance than FR (T30: $p = 0.017$; Vmax: $p = 0.028$). Moreover, BF showed higher Pmax values than FR ($p = 0.037$), without significant differences in the rest of the strength-related variables or Fv profile. Regarding jump tests, BF attained higher CMJ and SJ values than FR ($p < 0.05$). The ES comparisons are depicted in **Figure 1c**.

Correlations according to the playing position of backs rugby players are shown in **Table 2**, whereas relationships in forwards are reported in **Table 3**.

TABLE 2 NEAR HERE

TABLE 3 NEAR HERE

4. Discussion

This is the first study to analyze the differences between specific playing positions in the Fv profile parameters, and sprint, strength, and jump abilities in rugby players. Moreover, relationships between the different physical parameters within specific rugby playing positions were examined. In general, backs and forwards showed different physical development, since backs showed better sprint performance (T5, T30, and Vmax,) than forwards, whereas forwards showed higher SM and absolute strength values (1RM-SQ and 1RM-BP). Regarding the Fv profile, backs showed higher F0 values than forwards, without significant differences in the rest of the Fv profiling parameters. Additionally, no significant differences were observed between specific backs positions (OB vs. IB), whereas more differences were found between specific forwards positions (FR vs. BF). Indeed, BF showed higher sprint and jump performances and greater Pmax values than FR. Regarding correlation analysis, sprint performance was related to relative strength, Pmax and jump ability. However, no significant relationships were observed between Fvimb and sprint, strength, or jump performance. Therefore, further research seems to be necessary to examine the possible associations between Fvimb and different indicators of athletic performance.

Regarding anthropometric characteristics, in agreement with previous studies in rugby players [6,11,35,36], forwards showed higher BM and height than backs. With regard to physical performance (*Table 1, Figure 1a*), backs showed better sprint performance (T5, T30, and Vmax) than forwards ($p < 0.001 - 0.01$). These findings indicate that backs achieved greater acceleration and Vmax than forwards. Supporting our findings, a recent study reported that backs achieved higher sprint velocity in 10 and 30 m than forwards [13]. However, in the present study, forwards achieved greater SM than backs, highlighting the importance of high Vmax with heavy BM, as typically shown in elite forwards. These findings suggest highly specific physical demands between playing positions, which may be related to their specific roles on the pitch. The higher acceleration and Vmax in backs is reasonable, since they participate in more open play actions [6], which require covering greater distances at higher

speeds [10]. However, a higher SM for forwards would be beneficial to cope with the contacts and tackles during the games [9]. Regarding maximal strength, forwards showed greater absolute strength values, in both SQ and BP, than backs, but when these values were normalized to BM, these differences disappeared and even backs showed a tendency to attain greater BP/BM than forwards ($p = 0.069$). These results are in line with previous research analyzing differences between playing positions in sub-elite rugby league players [37]. Higher values of absolute strength and greater BM for forwards would be favorable for this position to master contact situations [9]. With respect to jumping ability (CMJ and SJ), our results indicate that backs and forwards attained similar jump performance. These results are in line with other studies that have reported a similar vertical jump height between forwards and backs in rugby players [11,37]. Therefore, jump performance does not seem to be a specific physical factor among rugby playing positions. According to the Fv profile, no significant differences were observed between positions for any variable except for F0 where backs showed higher values than forwards. In addition, both playing positions showed a Fvimb shifted towards force imbalances. These results may suggest the existence of a specific Fv profile for rugby players, with higher F0 requirements than V0, instead of the suggested optimal profile to maximize jump performance.

In order to determine specific aspects that distinguish between specific back positions, OB vs. IB were compared, without finding significant differences between them (*Table 1, Figure 1b*). However, the ES analysis suggested that IB had *likely* higher BM, 1RM-SQ, V0, and Pmax values than OB. In this regard, Duthie et al. [9] mentioned that IB require higher strength, speed, and power, as they show higher frequency of contact with the adversary, whereas OB require considerable speed to out-manoeuvre their opponents. Our findings partly support this idea, as *unclear* differences were observed for sprint times, Vmax, and SM. On the other hand, higher differences were observed between specific forward positions (*Table 1, Figure 1c*), since BF showed to be lighter, taller, faster, and more powerful (i.e. Pmax) than FR, although FR demonstrated higher SM. In this regard, it is a prerequisite for BF to be constantly involved in open play, which requires someone to have excellent speed, acceleration, and endurance performance [9]. In contrast, Props and Hookers (i.e. FR) are frequently involved in gaining ball possession skills, which require close contact with the opponents and limited opportunity to run with the ball [15]. Additionally, FR play a key role at set pieces such as scrummages and line-outs, which require great strength and power levels [15]. In agreement with our findings, Gabbett [38] reported that in rugby league players, FR were significantly heavier and had

higher skinfold thickness than all other positions. In this regard, it has previously reported that fat mass ($r = 0.75$) is strongly related with 10 m sprint time and repeated sprint test performance in rugby players, emphasizing the negative effect of excess fat mass on this performance [39].

In Table 4, backs revealed large correlations between Vmax and T30 ($r = -0.760$, $p < 0.01$), although interestingly, T30 was not correlated to T5, or jump performance, which differs from recent findings that reported a significant relationship between relative peak power and CMJ height and 10 and 20 m sprint time in rugby players [40]. However, in the latter study players were not divided by playing position, which may explain the conflicting findings. To the best of our knowledge, this is the first study to report correlations according to playing position. An interesting finding was that Vmax was significantly correlated with SQ/BM, Pmax, and jump height, which is in line with previous findings [20,24]. Accordingly, the importance of the development of relative strength and power, in order to improve speed performance in backs' positions, should be highlighted. Regarding the Fv profile, Fvimb was not correlated with sprint, strength, or jump performance. However, F0 showed significant correlations with CMJ ($r = 0.401$). Therefore, our findings suggest that F0, instead of Fvimb, seem to be related to jump performance, although no Fv profile variable showed a relationship with sprint or SQ performance.

Regarding correlations for forwards (Table 5), in contrast to backs, moderate to large correlations were found between T5, T30, Vmax, SQ/BM, SJ, and CMJ. These higher relationships, compared to backs, may be explained by the higher heterogeneity among the forwards population, as shown in the differences between specific forwards positions (i.e. FR vs. BF). When considering sprints, as previously reported [41], a moderate correlation was found between CMJ, SJ, and T30. Previous studies have also found large correlations between jump and sprint qualities [26,42]. An important finding of the present study was the large correlation observed between SQ/BM and sprint performance (T5, T30 and Vmax) and with 1RM-SQ, F0, Pmax, and jump height (CMJ and SJ). This finding seems to indicate that heavier rugby players should focus on improving the ratio between 1RM in the SQ exercise and BM, as this could positively influence jumping and sprinting ability. This highlights the importance of developing high levels of strength in lower limbs, to enhance sprint and jump performance, as recently indicated in youth soccer players [20]. Also with soccer players [25], researchers found that the relationship between CMJ and linear sprints becomes stronger with longer distances (> 20 m) than with distances shorter than 20 m [43]. Regardless of playing position,

results support previous finding in rugby players, suggesting that momentum and velocity may not necessarily be linked [6], thus these may be moderately associated to strength.

According to the Fv profile variables, Fvimb was not correlated with sprint, jump, or strength performance. F0 showed *moderate* correlations with V0 ($r = -0.438, p < 0.05$), CMJ ($r = 0.450, p < 0.05$), SJ40, and SJ50 ($r = 0.532-0.551, p < 0.01$), whereas V0 showed *moderate* correlations with Pmax, CMJ, and SJ. However, Pmax demonstrated *moderate* to *strong* correlations ($r = 0.805-0.855, p < 0.01$) with CMJ and SJ. Our results are similar to those found in soccer players, where Pmax was the mechanical variable most correlated with jumping and sprinting performance [26]. Accordingly, our findings indicate that Fvimb does not explain sprint, strength, or jump performance, at least not in rugby players.

5. Conclusions

In conclusion, backs and forwards present different physical requirements, which may be related to the different demands during rugby games. Moreover, small differences were observed between specific backs' positions (i.e. IB vs. OB), whereas specific forwards' positions showed higher physical differences. Moreover, all playing positions showed a Fvimb with a low force imbalance, which seems to be a specific Fv profile for rugby players. Finally, significant relationships were observed between relative strength and sprinting and jumping performance in forwards rugby players.

The present findings provide meaningful information for rugby coaches that could improve the process of training program design and talent identification. Backs were faster than forwards, whereas forwards showed higher SM and absolute strength values (1RM-SQ and 1RM-BP). Additionally, no clear differences between specific backs' positions were observed, whereas specific forwards' positions (FR vs. BF) showed higher differences, since BF were faster and more powerful than FR. In addition, the present findings suggest that high levels of relative strength and power may be relevant in order to attain higher levels of sprinting and jumping performance in backs' and forwards' positions. **In addition, Fvimb does not seem to be related to physical performance, at least not in rugby players. These findings are in contrast with previous results reported in the literature where authors mentioned the imbalance of the profile Fvimb must be verified and the coaches should consider it to design the training program [44].**

378 **Acknowledgments**

379 We would like to thank the rugby clubs and players for their support and cooperation in the
380 present project.

381

382 **Authors' contributions**

383 The authors contributed equally to this work.

384

385 **Disclosure of interest**

386 The authors declare that they have no competing interest.

387

388

389

390

391

392

393

394

395

396

397

398

399

400

401

402

403

404

405

406

407

408

409

410

411

412

413

414

415

References

- [1] Smart D, Hopkins WG, Quarrie KL, Gill N. The relationship between physical fitness and game behaviours in rugby union players. *Eur J Sport Sci* 2014;14:S8–17.
- [2] Gabbett TJ. Physiological characteristics of junior and senior rugby league players. *Br J Sports Med* 2002;36:334–9.
- [3] Wheeler KW, Sayers MGL. Contact skills predicting tackle-breaks in rugby union. *Int J Sport Sci Coach* 2009;4:535–44.
- [4] Nagayama C, Muto K, Iwami M, Ishihara M, Tobina T. Summer training camp decrease food intake in adolescent rugby football players. *Sci Sports* 2019;34:e109–17.
- [5] Hansen KT, Cronin JB, Pickering SL, Newton MJ. Does cluster loading enhance lower body power development in preseason preparation of elite rugby union players? *J Strength Cond Res* 2011;25:2118–26.
- [6] Darrall-Jones JD, Jones B, Till K. Anthropometric, sprint, and high-intensity running profiles of english academy rugby union players by position. *J Strength Cond Res* 2016;30:1348–58.
- [7] Baker DG, Newton RU. Comparison of lower body strength, power, acceleration, speed, agility, and sprint momentum to describe and compare playing rank among professional rugby league players. *J Strength Cond Res* 2008;22:153–8.
- [8] Kearney PE. Playing position influences the relative age effect in senior rugby union. *Sci Sports* 2017;32:114–6.
- [9] Duthie G, Pyne D, Hooper S. Applied physiology and game analysis of rugby union. *Sport Med* 2003;33:973–91.
- [10] Quarrie KL, Raftery M, Blackie J, Cook CJ, Fuller CW, Gabbett TJ, et al. Managing player load in professional rugby union: a review of current knowledge and practices. *Br J Sports Med* 2017;51:421–7.
- [11] Da Cruz-Ferreira AM, Ribeiro CAF. Anthropometric and physiological profile of Portuguese rugby players - Part I: Comparison between athletes with different competitive levels. *Rev Bras Med Do Esporte* 2013;19:48–51.
- [12] Darrall-Jones JD, Jones B, Till K. Anthropometric and physical profiles of English

- academy rugby union players. *J Strength Cond Res* 2015;29:2086–96.
- [13] Nakamura FY, Pereira LA, Moraes JE, Kobal R, Kitamura K, Cal Abad CC, et al. Physical and physiological differences of backs and forwards from the Brazilian National rugby union team. *J Sports Med Phys Fitness* 2017;57:1549–56.
- [14] Read DB, Jones B, Phibbs PJ, Roe GAB, Darrall-Jones JD, Weakley JJS, et al. Physical demands of representative match-play in adolescent rugby union. *J Strength Cond Res* 2017;31:1290–6.
- [15] Nicholas CW. Anthropometric and physiological characteristics of rugby union football players. *Sport Med* 1997;23:375–96.
- [16] Samozino P, Morin JB, Hintzy F, Belli A. A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *J Biomech* 2008;41:2940–5.
- [17] Samozino P, Rabita G, Dorel S, Slawinski J, Peyrot N, Saez de Villarreal E, et al. A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scand J Med Sci Sports* 2016;26:648–58.
- [18] Samozino P, Rejc E, Di Prampero PE, Belli A, Morin J-B. Optimal force-velocity profile in ballistic movements--altius: citius or fortius?. *Med Sci Sports Exerc* 2012;44:313–22.
- [19] Jiménez-Reyes P, Samozino P, García-Ramos A, Cuadrado-Peñafiel V, Brughelli M, Morin J-B. Relationship between vertical and horizontal force-velocity-power profiles in various sports and levels of practice. *PeerJ* 2018;6:e5937.
- [20] Comfort P, Stewart A, Bloom L, Clarkson B. Relationships between strength, sprint, and jump performance in well-trained youth soccer players. *J Strength Cond Res* 2014;28:173–7.
- [21] Sleivert G, Taingahue M. The relationship between maximal jump-squat power and sprint acceleration in athletes. *Eur J Appl Physiol* 2004;91:46–52.
- [22] Seitz LB, Reyes A, Tran TT, de Villarreal ES, Haff GG, Saez de Villarreal E, et al. Increases in lower-body strength transfer positively to sprint performance: a systematic review with meta-analysis. *Sport Med* 2014;44:1693–702.
- [23] Barr MJ, Nolte VW. Which measure of drop jump performance best predicts sprinting speed? *J Strength Cond Res* 2011;25:1976–82.

- [24] Cunningham DJ, West DJ, Owen NJ, Shearer DA, Finn C V, Bracken RM, et al. Strength and power predictors of sprinting performance in professional rugby players. *J Sports Med Phys Fitness* 2013;53:105–11.
- [25] Jalilvand F, Banoocy NK, Rumpf MC, Lockie RG. Relationship between body mass, peak power, and power-to-body mass ratio on sprint velocity and momentum in high-school football players. *J Strength Cond Res* 2019;33:1871–7.
- [26] Marcote-Pequeño R, García-Ramos A, Cuadrado-Peñafiel V, González-Hernández JM, Gómez MÁ, Jiménez-Reyes P. Association between the force–velocity profile and performance variables obtained in jumping and sprinting in elite female soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 2019;14:209-215.
- [27] Van Hooren B, Zolotarjova J. The difference between countermovement and squat jump performances: a review of underlying mechanisms with practical applications. *J Strength Cond Res* 2017;31:2011–20.
- [28] Vivancos A, Zambudio A, Ramírez F, Del Águila A, Castrillón F, Pardo P. OC14 Reliability and validity of a linear position transducer for strength assessment. *Br J Sports Med* 2014;48:A5.2-A5.
- [29] Sánchez-Medina L, Pallarés J, Pérez C, Morán-Navarro R, González-Badillo J. Estimation of relative load from bar velocity in the full back squat exercise. *Sport Med Int Open* 2017;01:E80–8.
- [30] González-Badillo JJ, Sánchez-Medina L, Pablo M. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med* 2010;31:347–52.
- [31] Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41:3–13.
- [32] Suarez-Arrones L, Arenas C, López G, Requena B, Terrill O, Mendez-Villanueva A. Positional differences in match running performance and physical collisions in men rugby sevens. *Int J Sports Physiol Perform* 2014;9:316–23.
- [33] Cohen. *Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences*. Routledge; 2013.
- [34] Hopkins WG. Spreadsheets for analysis of controlled trials, with adjustment for a subject characteristic. *Sportscience* 2006;10:46–50.

- [35] Nakamura FY, Pereira LA, Moraes JE, Kobal R, Kitamura K, Cal Abad CC, et al. Physical and physiological differences of backs and forwards from the Brazilian National rugby union team. *J Sport Med Phys Fit* 2017;57:1549-1556.
- [36] Fontana FY, Colosio A, De Roia GF, Da Lozzo G, Pogliaghi S. Anthropometrics of Italian senior male rugby union players: from elite to second division. *Int J Sports Physiol Perform* 2015;10:674–80.
- [37] La Monica MB, Fukuda DH, Miramonti AA, Beyer KS, Hoffman MW, Boone CH, et al. Physical differences between forwards and backs in American collegiate rugby players. *J Strength Cond Res* 2016;30:2382–91.
- [38] Gabbett TJ. A comparison of physiological and anthropometric characteristics among playing positions in sub-elite rugby league players. *J Sports Sci* 2006;24:1273–80.
- [39] Guiraudou M, Maimoun L, Dumas J-M, Julia M, Raingeard I, Brun J-F. Composition corporelle mesurée par impédancemétrie segmentaire (BIAS) et performance de sprint chez les rugbymen. *Sci Sports* 2015;30:298–302.
- [40] Turner TS, Tobin DP, Delahunt E. Peak power in the hexagonal barbell jump squat and its relationship to jump performance and acceleration in elite rugby union players. *J Strength Cond Res* 2015;29:1234–9.
- [41] McFarland I, Dawes JJ, Elder C, Lockie R. Relationship of two vertical jumping tests to sprint and change of direction speed among male and female collegiate soccer players. *Sports* 2016;4:11.
- [42] Loturco I, D'Angelo RA, Fernandes V, Gil S, Kobal R, Cal Abad CC, et al. Relationship between sprint ability and loaded/unloaded jump tests in elite sprinters. *J Strength Cond Res* 2015;29:758–64.
- [43] Vescovi JD, Mcguigan MR. Relationships between sprinting, agility, and jump ability in female athletes. *J Sports Sci* 2008;26:97–107.
- [44] Hervéou T, Rahmani A, Chorin F, Frère J, Ripamonti M, Durand S. Force-velocity muscular profiles and jumping performances of soccer goalkeeper. *Sci Sports* 2018;33:307–13.

Table 1. Mean (\pm SD) performance and differences in sprint, strength, force-velocity profiles and jump performance between specific rugby playing positions.

VARIABLES	PLAYING POSITION			BACKS			FORWARDS		
	BACKS	FORWARDS	P-value	OUTSIDE	INSIDE	P-value	BACK FIVE	FRONT ROW	P-value
<i>Height (cm)</i>	175.96 \pm 5.74	180.04 \pm 8.18	0.040	175.27 \pm 5.93	176.44 \pm 5.76	0.617	183.27 \pm 7.23	177.31 \pm 8.19	0.071
<i>BM (kg)</i>	80.4 \pm 8.80	96.3 \pm 14.00	< 0.001	77.98 \pm 7.47	82.06 \pm 9.47	0.223	89.30 \pm 8.19	104.45 \pm 13.74	0.004
<i>T5 (s)</i>	0.90 \pm 0.03	0.94 \pm 0.05	0.007	0.90 \pm 0.03	0.90 \pm 0.04	0.777	0.92 \pm 0.05	0.95 \pm 0.05	0.081
<i>T30 (s)</i>	4.13 \pm 0.12	4.34 \pm 0.21	< 0.001	4.12 \pm 0.06	4.14 \pm 0.14	0.638	4.23 \pm 0.22	4.43 \pm 0.15	0.017
<i>Vmax (m·s⁻¹)</i>	8.41 \pm 0.35	7.88 \pm 0.54	< 0.001	8.47 \pm 0.35	8.37 \pm 0.35	0.467	8.16 \pm 0.51	7.73 \pm 0.32	0.028
<i>SM (kg·m·s⁻¹)</i>	676 \pm 76.13	763.79 \pm 91.54	< 0.001	659.91 \pm 67.26	687.07 \pm 81.91	0.355	725.76 \pm 55.78	787.84 \pm 112.23	0.096
<i>SQ/BM</i>	1.59 \pm 0.22	1.50 \pm 0.25	0.170	1.55 \pm 0.21	1.62 \pm 0.23	0.389	1.58 \pm 0.22	1.43 \pm 0.26	0.154
<i>1RM-SQ</i>	127.53 \pm 19.18	142.93 \pm 22.56	0.012	121.54 \pm 16.59	132.38 \pm 20.07	0.15	140.33 \pm 18.23	152.22 \pm 21.55	0.178
<i>BP/BM</i>	1.31 \pm 0.19	1.21 \pm 0.20	0.069	1.28 \pm 0.19	1.32 \pm 0.19	0.622	1.26 \pm 0.17	1.17 \pm 0.22	0.274
<i>1RM-BP</i>	105.26 \pm 17.72	115.65 \pm 20.18	0.058	101.43 \pm 17.76	108.29 \pm 18.12	0.353	112.26 \pm 16.58	122.02 \pm 20.14	0.217
<i>F0 (N·kg⁻¹)</i>	36.96 \pm 6.21	33.38 \pm 5.04	0.027	37.58 \pm 8.45	36.55 \pm 4.34	0.715	33.79 \pm 2.75	32.69 \pm 4.74	0.462
<i>V0 (m·s⁻¹)</i>	2.77 \pm 0.48	2.95 \pm 1.04	0.448	2.62 \pm 0.48	2.88 \pm 0.47	0.168	2.85 \pm 0.44	2.67 \pm 0.41	0.302
<i>Pmax (W·kg⁻¹)</i>	25.64 \pm 4.47	24.04 \pm 5.96	0.291	24.18 \pm 4.76	26.64 \pm 4.12	0.180	24.76 \pm 3.20	21.56 \pm 3.66	0.037
<i>Fvimb (%)</i>	86.18 \pm 26.51	76.08 \pm 19.5	0.125	94.27 \pm 33.77	80.63 \pm 19.42	0.246	78.45 \pm 17.44	78.50 \pm 15.17	0.994
<i>CMJ (cm)</i>	35.54 \pm 4.64	33.10 \pm 5.57	0.098	35.72 \pm 5.94	35.43 \pm 3.70	0.885	35.60 \pm 5.07	30.15 \pm 4.44	0.013
<i>SJ (cm)</i>	30.93 \pm 4.15	28.75 \pm 4.93	0.096	30.04 \pm 5.41	31.55 \pm 3.05	0.414	30.75 \pm 3.77	26.19 \pm 4.40	0.014
<i>Ratio CMJ/SJ</i>	1.15 \pm 0.11	1.15 \pm 0.07	0.994	1.20 \pm 0.15	1.12 \pm 0.06	-0.151	1.16 \pm 0.08	1.15 \pm 0.07	0.822

ES: effect size as Cohen's d, CI: confidence interval; BM: body mass; T5: time in 5 m sprint; T30: time in 30 m sprint; Vmax: maximum sprint speed; SM: sprint momentum; SQ/BM: ratio between 1RM in squat and BM; 1RM-SQ: estimated 1RM in squat exercise; BP/BM: ratio between 1RM in bench press and BM; 1RM-BP: estimated 1RM in the bench press; F0: theoretical maximum force, V0: theoretical maximum velocity, Pmax: maximum power; Fvimb: imbalance of the force-velocity profile; CMJ: countermovement jump; SJ: squat jump; CMJ/SJ: ratio between CMJ and SJ.

Table 2. Relationships between force-velocity profile variables, strength, sprint and jump performance in backs rugby players.

	<i>Sprint</i>			<i>Strength</i>			<i>Force-velocity profile</i>				
	<i>T30</i>	<i>T5</i>	<i>Vmax</i>	<i>SM</i>	<i>SQ/BM</i>	<i>1RM-SQ</i>	<i>F0</i>	<i>V0</i>	<i>Pmax</i>	<i>Fvimb</i>	<i>CMJ</i>
<i>T5</i>	.246										
<i>Vmax</i>	-.760**	-.224									
<i>SM</i>	.117	-.178	.285								
<i>SQ/BM</i>	-.421*	.113	.404*	-.173							
<i>1RM-SQ</i>	-.194	.043	.329	.516**	.719**						
<i>F0</i>	-.188	-.136	.324	-.052	.407*	.285					
<i>V0</i>	-.062	.155	.167	-.016	.122	.061	-.347				
<i>Pmax</i>	-.234	.184	.512**	.075	.335	.237	.300	.629**			
<i>Fvimb</i>	-.039	-.339	.097	.010	-.021	.044	.616**	-.888**	-.444*		
<i>CMJ</i>	-.332	.134	.571**	.002	.294	.151	.401*	.257	.685**	.018	
<i>SJ</i>	-.175	.107	.441*	.020	.450*	.332	.271	.557**	.800**	-.373	.756**

**Correlation is significant at the 0.01 level. *Correlation is significant at the 0.05 level. T30: time in 30m sprint; T5: time in 5m sprint; Vmax: maximum sprint speed; SM: sprint momentum; SQ/BM: ratio between body mass and 1RM SQ; 1RM-SQ: estimated 1RM in the squat exercise; F0: theoretical maximum force; V0: theoretical maximum velocity; Pmax: maximum power; Fvimb: imbalance of the force-velocity profile. CMJ: countermovement jump; SJ: squat jump.

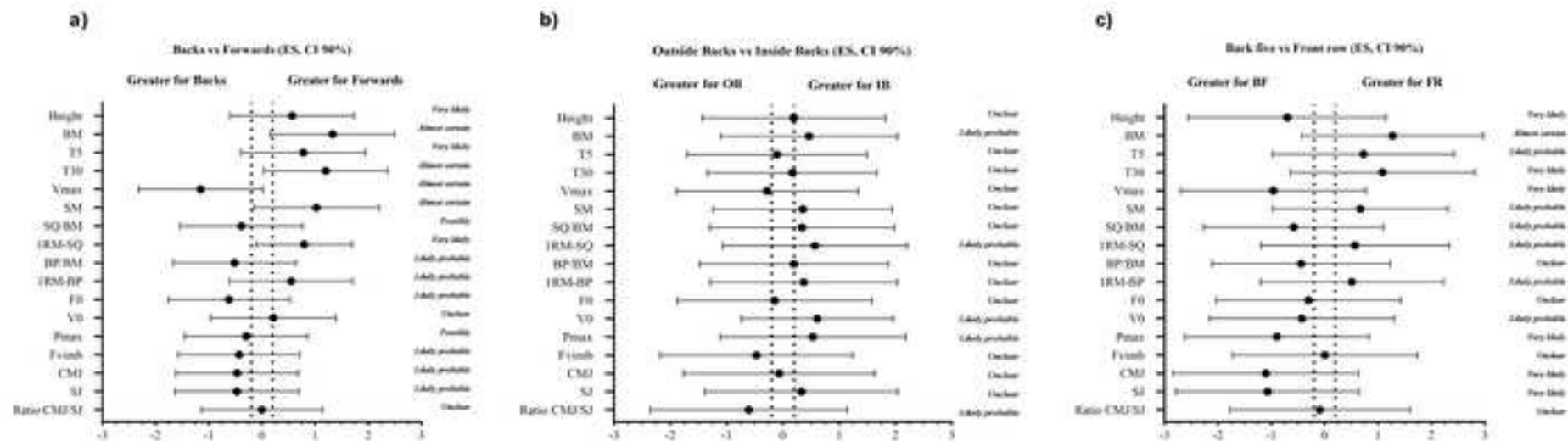
Table 3. Relationships between force-velocity profile variables, strength, sprint and jump performance in forwards rugby players.

	Sprint				Strength		Force-velocity profile				
	T30	T5	Vmax	SM	SQ/BM	1RM-SQ	F0	V0	Pmax	Fvimb	CMJ
T5	.836**										
Vmax	-.901**	-.647**									
SM	.019	-.306	.029								
SQ/BM	-.748**	-.479*	.656**	-.209							
1RM SQ	-.380	-.444*	.278	.547**	.628**						
F0	-.386	-.190	.415*	-.227	.491*	.144					
V0	-.256	-.195	.168	-.077	.337	.310	-.438*				
Pmax	-.434*	-.299	.398	-.235	.703**	.456*	.340	.551**			
Fvimb	-.153	-.149	.200	-.056	.004	-.163	.728**	-.725**	-.095		
CMJ	-.673**	-.539**	.568**	-.097	.772**	.512*	.450*	.341	.805**	-.029	
SJ	-.566**	-.434*	.410*	-.075	.726**	.544**	.321	.488*	.855**	-.184	.925**

**Correlation is significant at the 0.01 level. *Correlation is significant at the 0.05 level. T30: time in 30m sprint; T5: time in 5m sprint; Vmax: maximum sprint speed; SM: sprint momentum; SQ/BM: ratio between body mass and 1RM SQ; 1RM SQ: estimated 1RM in the squat exercise; F0: theoretical maximum force; V0: theoretical maximum velocity; Pmax: maximum power; Fvimb: imbalance of the force-velocity profile. CMJ: countermovement jump; SJ: squat jump.

Figure captions

Figure 1. a) Standardized differences in the comparisons between Backs and Forwards; b) Standardized differences in the comparisons between Outside backs (OB) and Inside backs (IB); c) Standardized differences in the comparisons between Back five (BF) and Front row (FR) forwards.



Effects of individualized training programs based on the force-velocity imbalance on physical performance in rugby players

Santiago Zabaloy^{a,b,*}, Fernando Pareja-Blanco^{b,c}, Julián C. Giráldez^a, Juan I. Rasmussen^d and Javier Gálvez González^{b,c}

^a*Faculty of Physical Activity and Sports, University of Flores, Buenos Aires, Argentina*

^b*Faculty of Sports Sciences, Pablo de Olavide University, Seville, Spain*

^c*Physical and Athletic Performance Research Centre, Department of Sport and Computer Sciences, Pablo de Olavide University, Seville, Spain*

^d*Athletic Performance, Club El Nacional Rugby, Buenos Aires, Argentina*

Received 3 August 2019

Accepted 21 January 2020

Abstract.

BACKGROUND: The use of force-velocity imbalance (Fvimb) has been proposed as an effective method for prescribing training loads aiming to enhance physical performance.

OBJECTIVE: This study aimed to analyse the effects on lower body strength, jump and sprint performance of different individualised resistance training (RT) programmes based on Fvimb in rugby players.

METHODS: Thirty-four senior rugby players were divided into four groups according to their Fvimb: Not individualised (NI, $n = 8$), velocity imbalance (Vimb, $n = 6$), force imbalance (Fimb, $n = 11$) and well balanced (WB, $n = 9$). The intervention period consisted of a 7-week resistance, plyometric and sprint training programme performed twice a week. Pre- and Post-training measures included Force-velocity (Fv) profile, countermovement jump (CMJ), 30 m sprint test and estimated one-repetition maximum in squat (1RM-SQ).

RESULTS: Significant “group” \times “time” interactions ($P < 0.05$) were observed for theoretical maximal velocity (V0), theoretical maximal force (F0), and Fvimb. No significant “group” \times “time” interactions were observed for the rest of variables analysed. The Vimb group significantly ($P < 0.05$) increased V0, whereas decreased F0 and Fvimb. The Fimb group showed significant ($P < 0.05$) decreases in V0, whereas increased F0 and Fvimb. The WB and NI groups did not show significant changes in these parameters. The WB group induced significant enhancements in 10 m, 20 m, and 30 m sprint times, maximum sprint speed and sprint momentum (SM), whereas Fimb attained significant changes in 20 m and 30 m sprint times. The NI group attained significant improvements ($P < 0.05$) in SM. No significant changes were observed for 1RM-SQ and jump performance.

CONCLUSION: Individualised RT programs based on Fvimb induced improvements in sprint performance. Moreover, individualised RT programs based on Fvimb induced better adjustments of the Fv profile to the theoretical “optimal” Fv profile, although any group improved SQ strength, jump height or maximum power.

Keywords: Resistance training, muscle strength, plyometric, speed, testing, team-sports

1. Introduction

*Corresponding author: Santiago Zabaloy, Faculty of Physical Activity and Sports, University of Flores, Buenos Aires, Argentina. Tel.: +54 11 4405 9303; E-mail: cszab1@alu.upo.es or antiagozabaloy@hotmail.com.

An elite rugby player must be competent in the different phases of sprinting speed, including the initial acceleration and maximum speed [1]. Rugby players

are required to perform maximal and explosive movements for contact situations and sprint actions [2]. In this regard, due to the nature of the modern game, it requires players to be strong to successfully tackle, agile to quickly evade opposition, have high cardiovascular endurance to sustain performance more than 80 minutes of activity, and have rapid force production capabilities for accelerating and tackling [3].

According to load magnitude employed in resistance training, Mora-Custodio et al. [4] reported that low-loads (40–60% 1RM) training programmes produce similar or more beneficial effects on neuromuscular performance than moderate loads (60–80% 1RM). Likewise, Pareja-Blanco et al. [5] showed that squat training with low/moderate loads combined with light loads resisted sprints may be an effective stimulus for improving leg strength, jumping ability, change of direction (COD), and sprint performance. In rugby players, the combination of two different complex training loading, both enhanced positive adaptations across the entire force-velocity spectrum, while simultaneously improving maximum strength and sprint [6].

Samozino et al. [7] proposed a model, known as Fv profile, based on the measurement of three simple variables, which allows practitioners to accurately assess strength, speed and power output in lower-limbs during a squat jump (SJ) in field conditions. In addition to being simple and low cost, test validation has been reported recently [8,9]. The comparison of an actual Fv profile with a theoretical optimal Fv profile (i.e. balance between force and velocity) could help identify which component (force or velocity) should be prioritised during training to improve performance [7,10]. For a given maximum power (P_{max}), an imbalance between force and velocity (Fvimb) could lead to a 30% loss of jump performance [7]. The loss of performance, depending on the calculated imbalance, would indicate how far (expressed in %) an athlete is from an optimal Fv profile. In practical terms, individualised training programmes aiming to improve vertical push-off performance, should focus on increasing P_{max} and/or reducing the Fvimb [11]. Morin and Samozino [11] suggested that athletes with a significant Fvimb, should follow an individualised RT program that prioritises the development of the unbalanced mechanical variable to optimise jumping performance. According to a recent study [1], both coaches and sports professionals involved in the development of rugby players should consider a sprinting force dominant Fv profile to improve acceleration ability, particularly on the initial acceleration phase. Another study [12] mentioned

that to improve sprint speed in rugby players, training strategies should aim to optimise the athlete's power to weight ratio, and that RT for lower limbs should focus on movement velocity.

In the light of the above, only two studies [13,14] have examined the effects of an individualised resistance and plyometric program based on Fvimb. These studies [13,14] concluded that individualised training programmes based on the Fvimb improve jumping ability in soccer and rugby players. However, they did not examine the effects of these protocols on lower limbs strength (i.e. 1RM) and sprint performance. In contrast, regarding sprint Fv profile, it has been reported that an individualised sprint-training based on the Fvimb was not more effective in improving sprint performance than a generalised sprint-training programme [15].

It seems that no research has analysed the combination of resistance and plyometric programme based on Fvimb on strength, jump and sprint performance. It was hypothesised that if the Fvimb is reduced, it would increase vertical jump height along with a positive impact on lower limbs strength and sprint. Therefore, the aim of this study was to experimentally test the effects on lower limbs strength, jump and sprint performance after following an individualised RT programme based on Fvimb.

2. Methods

2.1. Participants

Thirty-four men, highly trained rugby players volunteered to participate in this study. Participants competed in top club competitions and had a minimum of ten years of playing experience. Participants were familiar with the tests performed, and were normally involved in ~ 5 training sessions per week (2 sessions for strength and speed, and 2–3 rugby sessions) and one weekly competition. Participants were recruited on the basis that they were free from any injury or training restriction, as verified by the club physiotherapist and had a minimum of two years of structured training experience under the supervision of a qualified strength and conditioning coach. All athletes rested the day before testing and were asked to attend testing in a fed and hydrated state, similar to their normal practices before training. The study met the ethical standards and was approved by an Institutional Research Ethics Committee and conformed to the recommendations of the Declaration of Helsinki. After being informed of

Table 1

Groups according to the Force-velocity imbalance cut-off values and main characteristics of participants

Group	Fvimb (%)	Body mass (kg)	Height (cm)	Age
Vimb ($n = 6$)	> 110%	84.05 \pm 11.65	174.33 \pm 6.83	21.50 \pm 3.53
Fimb ($n = 11$)	< 90%	89.38 \pm 11.07	177.64 \pm 5.26	23.73 \pm 3.32
WB ($n = 9$)	90–110%	93.46 \pm 15.65	177.89 \pm 7.36	22.00 \pm 3.77
NI ($n = 7$)	1–199%	84.37 \pm 15.59	179.43 \pm 9.22	21.43 \pm 2.51

*Vimb: group with velocity imbalance; Fimb: group with force imbalance; WB: well-balanced group or low imbalance; NI: not individualised. Fvimb: Force-velocity imbalance.

Table 2

Loads and exercises selected to target each group force-velocity imbalances

Group	Resistance/loads	Jumps/loads	Sprint
Vimb ($n = 6$)	Low 40–60% 1RM Exercise: Squat	SJ (40–60% BW) BW Horizontal and vertical	Unresisted
Fimb ($n = 11$)	High 75–85% 1RM Exercise: Squat	SJ (75–85% BW) BW Horizontal and vertical	Unresisted
WB ($n = 9$)	Moderate 60–75% 1RM Exercise: Squat	SJ (60–75% BW) BW Horizontal and vertical	Unresisted
NI ($n = 7$)	Moderate 60–75% 1RM Exercise: Squat	SJ (60–75% BW) BW Horizontal and vertical	Unresisted

Vimb: velocity imbalance group; Fimb: force imbalance group; WB: well-balanced group; NI: not individualised group. 1RM: one-repetition maximum; SJ: squat jump; BW: body weight.

the purpose and experimental procedures, participants signed a written informed consent form prior to participation.

2.2. Procedures

Experimental design

The present study used a longitudinal follow-up with Pre-Post experimental design with testing sessions. The intervention was performed at the middle of the competitive season. Participants were allocated according to their individual Fvimb (%) obtained from Pre-training tests and then randomly assigned to one of four training conditions. Three groups carried out a targeted and individualised resistance, plyometric and sprint program according to their Fvimb: 1) velocity imbalance (Vimb, $n = 6$), who had a Fvimb higher than 110%; 2) force imbalance (Fimb, $n = 11$), who had a Fvimb lower than 90%; and 3) well-balanced (WB, $n = 9$), who had a Fvimb between 90 and 110%. The fourth group carried out a non-individualised intervention (NI, $n = 8$), consisting of performing the same training program as the WB group but their Fvimb was not taken into consideration. The randomisation process was performed by a co-author not directly involved in testing or the training intervention. Participants' anthropometric characteristics and Fvimb cut-off values are presented in Table 1.

Resistance and plyometric training loads used in the present study (Table 2) were adapted and mod-

ified from Jiménez-Reyes et al. [13]. The training programme was performed over a 7 weeks period (two sessions per week). Participants were required to complete 14 out of 14 intervention-training sessions (100%) and all Pre- and Post-training tests in order to be included. The RT program was different regarding RT loads (% 1RM) and plyometric (% body mass, "BM") but identical in volume and exercises among groups. Sprint training was identical for all groups. The training intervention consisted of sprint training in the first part of the session followed by two lower-limb resistance and plyometric exercises, whose duration did not exceed 40 min. These training sessions were held before the specific rugby training so that, in this way, fatigue did not affect performance. Session rating of perceived exertion (RPE) was registered throughout the intervention period for all the rugby session based on previously published guidelines [16]. The specific rugby sessions were ~ 60 min duration in total and RPE was between 6–8 for all sessions and players. The weekly characteristics of the training programme of each sub-group are presented in Table 3.

Testing procedures

Assessment of CMJ and Fv profile tests were performed on day one. After 48 hours of rest, isoinertial squat loading test was performed to estimate 1RM in the squat (1RM-SQ). Finally, on day three, also ensuring 48 hours of rest, 30 m sprint speed test was performed. Participants had abstained from training on

Table 3
Weekly training characteristics for the participants during the intervention period

	Week 1			Week 2			Week 3			Week 4			Week 5			Week 6			Week 7		
	Session 1	Session 2	Session 3	Session 4	Session 5	Session 6	Session 7	Session 8	Session 9	Session 10	Session 11	Session 12	Session 13	Session 14	Session 15	Session 16	Session 17	Session 18	Session 19	Session 20	Session 21
Vimb	40%	40%	50%	50%	55%	55%	60%	60%	40%	40%	50%	50%	40%	40%	40%	50%	50%	55%	55%	55%	55%
Fimb	75%	75%	75%	75%	80%	80%	85%	85%	75%	75%	85%	85%	75%	75%	75%	85%	85%	80%	80%	80%	80%
WB	60%	60%	65%	65%	70%	70%	75%	75%	60%	60%	65%	65%	60%	60%	60%	65%	65%	60%	60%	60%	60%
NI	60%	60%	65%	65%	70%	70%	75%	75%	60%	60%	65%	65%	60%	60%	60%	65%	65%	60%	60%	60%	60%
Speed	3 × 20 m;	3 × 20 m;	2 × 20 m;	2 × 20 m;	3 × 20 m;	3 × 20 m;	2 × 20 m;	2 × 20 m;	3 × 20 m;	2 × 20 m;	3 × 20 m;	3 × 20 m;	2 × 20 m;	2 × 20 m;	2 × 20 m;	3 × 20 m;	3 × 20 m;	3 × 20 m;	3 × 20 m;	3 × 10 m;	3 × 10 m;
R × D	6 × 10 m	6 × 10 m	2 × 30 m	4 × 5	3 × 10 m	3 × 10 m	2 × 10 m;	4 × 5	3 × 10 m	4 × 10 m	3 × 30 m	4 × 5	3 × 10 m	4 × 10 m	4 × 10 m	3 × 10 m	4 × 5	3 × 10 m	3 × 10 m	3 × 20 m	3 × 20 m
SQ S × R	3 × 6	3 × 6	3 × 5	3 × 4	3 × 3	4 × 4	3 × 2	3 × 4	3 × 5	3 × 5	2 × 3	2 × 3	3 × 5	3 × 5	3 × 5	2 × 3	2 × 3	3 × 3	3 × 3	3 × 3	3 × 3
Jumps	SJ;	Hor;	SJ;	Hor;	SJ;	Hor;	CMJ;	Hor;	Val;	Hor;	SJ;	Hor;	Val;	Hor;	Hor;	Hor;	Hor;	Val;	HorIP;	HorIP;	HorIP;
S × R	3 × 6	3 × 6	3 × 5	3 × 4	3 × 3	4 × 4	3 × 4	3 × 4	3 × 5	3 × 5	2 × 3	2 × 3	3 × 5	3 × 5	3 × 5	2 × 3	2 × 3	3 × 3	3 × 3	3 × 3	3 × 3

* Vimb: group with velocity imbalance; Fimb: group with force imbalance; WB: well-balanced group; NI: not individualised; % IRM: percentage of one-repetition maximum; R × D: repetitions × distance; SQ: Squat; S × R: sets × repetitions; Jumps: SJ (Squat Jump); CMJ: countermovement jump; Hur: plyometric hurdles; Hor: Horizontal jump; HorIP: Horizontal, unilateral jump. * Recovery between sets was 2 min for resistance and plyometric training and between 2 to 3 min for sprints.

the day before testing. The Pre- and Post-training tests were conducted in the same rugby facilities. All participants completed the tests in the same order and at the same time of day.

Jump test and force-velocity profile

SJ and CMJ height were assessed using a portable jump mat (Chronojump Boscosystem, Barcelona, Spain) as reported previously [8,13]. Since take-off and landing positions may affect jump height, participants were instructed to keep their feet extended during the jump until landing. Warm-up consisted of 10 min of non-fatiguing activation and mobilisation exercises, including bodyweight lunges and squats and finally two sets of 4 repetitions of CMJ. To obtain an individual Fvimb, each subject performed a maximal vertical unloaded SJ and against four extra loads (20, 30, 40 and 50 kg) in a randomized order. With regard to Fv profile, mechanical parameters were calculated for all conditions using the method proposed by Samozino et al. [8]. A detailed description of the protocol and testing procedures used in this study has been reported elsewhere [17]. Briefly, it consists of performing SJ, starting from 90° in the knee joint, without any counter-movement. The test was performed with hands on the hips for the unloaded SJ and a barbell for the loaded conditions [18], and participants were asked to maintain their individual starting position (~ 90° knee angle) for about 2 s and then jump for maximum height. Countermovement was verbally forbidden and carefully checked [13]. Two valid trials were performed with each condition with 2 min of recovery between trials and 4–5 min between conditions. SJ conditions were named as follows: SJ (0 kg), SJ20 (20 kg), SJ30 (30 kg), SJ40 (40 kg), SJ50 (50 kg). Intraclass correlation coefficient (ICC) and coefficient of variation (CV) from Pre-training for all jumps were > 0.95 and < 4.9% respectively. Post-training ICC and CV were > 0.97 and < 4.2% respectively. Coefficient R² of Pre- and Post-training were > 0.94.

Isoinertial squat loading test

Strength test consisted of 1RM estimation in the squat exercise, using a linear position transducer (Chronojump Boscosystem, Barcelona, Spain) [19]. Strength assessment began after a specific warm up protocol used previously [20]. Squat was performed using a Squat rack and a barbell, likewise vertical displacement was verified at all times. The participants performed the squat from an upright position, descending at a controlled velocity (0.50–0.70 m·s⁻¹) until the tops of the thighs were below the horizontal plane, then

immediately reversed motion and ascended back to the upright position at maximal intended velocity. Participants were not allowed to jump or take off the bar of the shoulders. The initial load was set at 40 kg for all participants and gradually increased by 5–10 kg. When participants reached an average mean propulsive velocity (MPV) near ~ 0.5 m·s⁻¹, the test was concluded. Only the best repetition at each load, according to the criteria of fastest MPV, was considered for subsequent analysis. The inter-set recovery time was 3 min. The MPV derived from this test were used to estimate 1RM-SQ, which was calculated from the MPV attained with the heaviest load (kg), as follows: Load (% 1RM) = -5.961 MPV² - 50.71 MPV + 117.0 [21].

Sprint test

Participants performed three 30 m sprints on a rugby pitch (natural turf) in dry weather conditions. In Pre- and Post-training tests wind speed was less than 2 km·h⁻¹, which was measured with a digital anemometer (Perfect-Prime, WD0081, Netherlands). The test started standing, from a 2-point staggered and 0.5 m behind the first timing gate, to prevent any early triggering of the initial gate. Photoelectric cells (Chronojump, Boscosystem, Barcelona, Spain) were placed at the beginning and at 5, 10, 20 and 30 m (1 m above ground level). Participants were encouraged to run the 30 m as quickly as possible. The best 30 m sprint time was considered for subsequent analysis. Recovery time between trials was 3–4 min. Times were recorded in the following distances: 0–5 m (T5); 0–10 m (T10), 0–20 m (T20) and 0–30 m (T30), and in the following split times: 10–20 m (T10–20) and 20–30 m (T20–30). Maximum sprint speed (MSS) was calculated by dividing the best split time by the 10 m interval (m·s⁻¹) and SM was calculated by multiplying the BM of each participant by the MSS of the best measured interval of the 30 m sprint (kg·m⁻¹·s⁻¹) [22]. ICC and CV from Pre-training were: T5: 0.84 and 2.4%; T10: 0.94 and 1.3%; T20: 0.97 and 1.0%; T30: 0.98 and 0.9%. Post-training ICC and CV were: T5: 0.84 and 2.4%; T10: 0.91 and 1.9%; T20: 0.97 and 1.0%; T30: 0.98 and 0.7%. All participants completed a 20 min standardised warm-up [15].

2.3. Statistical analysis

Standard statistical methods were used for the calculation of means, standard deviations (SD). Shapiro-Wilk test were used to analyse if the values were normally distributed. Data were analysed using a 4 ×

Table 4
Changes in sprint and strength performance pre- and post-training (Mean \pm SD)

Group	Variable	Pre	Post	Intra-group <i>P</i> -value	ES	95% CI
Vimb (<i>n</i> = 6)	T5 (s)	0.90 \pm 0.04	0.88 \pm 0.05	0.55	−0.24	(−0.90; 1.37)
	T10 (s)	1.66 \pm 0.06	1.62 \pm 0.05	0.08	−0.61	(−0.56; 1.76)
	T20 (s)	2.96 \pm 0.10	2.92 \pm 0.08	0.08	−0.45	(−0.70; 1.59)
	T30 (s)	4.16 \pm 0.16	4.12 \pm 0.14	0.15	−0.28	(−0.86; 1.40)
	MSS (m·s ^{−1})	8.31 \pm 0.45	8.31 \pm 0.43	1.00	0.00	(−1.13; 1.13)
	SM (kg·m·s ^{−1})	682.00 \pm 109.23	684.00 \pm 103.42	0.81	0.02	(−1.14; 1.11)
Fimb (<i>n</i> = 11)	1RM-SQ (kg)	129.15 \pm 23.26	136.01 \pm 12.21	0.11	0.36	(−1.5; 0.78)
	T5 (s)	0.93 \pm 0.03	0.92 \pm 0.04	0.37	−0.30	(−0.54; 1.13)
	T10 (s)	1.70 \pm 0.06	1.68 \pm 0.06	0.28	−0.25	(−0.59; 1.08)
	T20 (s)	3.04 \pm 0.11	3.00 \pm 0.10	0.05	−0.31	(−0.52; 1.15)
	T30 (s)	4.28 \pm 0.17	4.23 \pm 0.16	0.03	−0.29	(−0.55; 1.12)
	MSS (m·s ^{−1})	8.04 \pm 0.36	8.11 \pm 0.40	0.18	0.18	(−1.02; 0.65)
WB (<i>n</i> = 9)	SM (kg·m·s ^{−1})	715.50 \pm 63.15	725.61 \pm 69.25	0.11	0.15	(−0.98; 0.68)
	1RM-SQ (kg)	139.67 \pm 19.15	145.48 \pm 15.66	0.07	0.33	(−1.16; 0.51)
	T5 (s)	0.91 \pm 0.06	0.89 \pm 0.04	0.10	−0.48	(−0.46; 1.41)
	T10 (s)	1.67 \pm 0.09	1.62 \pm 0.06	0.002	−0.66	(−0.30; 1.60)
	T20 (s)	2.97 \pm 0.16	2.91 \pm 0.11	0.007	−0.38	(−0.55; 1.31)
	T30 (s)	4.23 \pm 0.19	4.17 \pm 0.14	0.02	−0.34	(−0.58; 1.27)
NI (<i>n</i> = 8)	MSS (m·s ^{−1})	8.15 \pm 0.34	8.28 \pm 0.35	0.04	0.35	(−1.28; 0.57)
	SM (kg·m·s ^{−1})	759.54 \pm 120.03	775.24 \pm 124.51	0.03	0.12	(−1.05; 0.79)
	1RM-SQ (kg)	152.54 \pm 20.04	155.35 \pm 19.66	0.41	0.14	(−1.06; 0.78)
	T5 (s)	0.91 \pm 0.04	0.89 \pm 0.06	0.33	−0.28	(−0.70; 1.26)
	T10 (s)	1.68 \pm 0.07	1.69 \pm 0.08	0.69	0.09	(−1.13; 0.95)
	T20 (s)	3.03 \pm 0.14	3.02 \pm 0.15	0.84	−0.02	(−1.01; 1.07)
	T30 (s)	4.21 \pm 0.24	4.18 \pm 0.26	0.20	−0.12	(−0.85; 1.10)
	MSS (m·s ^{−1})	8.12 \pm 0.52	8.23 \pm 0.51	0.10	0.18	(−1.16; 0.79)
	SM (kg·m·s ^{−1})	681.54 \pm 99.20	698.09 \pm 91.41	0.03	0.17	(−1.15; 0.81)
	1RM-SQ (kg)	124.15 \pm 23.34	129.52 \pm 19.15 ^{WB}	0.15	0.25	(−1.23; 0.73)

Groups: velocity imbalance (Vimb); force imbalance (Fimb); well balanced (WB); Not individualised (NI); ES: effect size of intra-group effects; 95% CI: confidence interval; T5: sprint time in 5 m; T10: sprint time in 10 m; T20: sprint time in 20 m; T30: sprint time in 30 m; MSS: maximum sprint speed; SM: sprint momentum; 1RM-SQ: estimated one-repetition maximum in the squat exercise. Inter-group significant differences at the corresponding time point: ^{Vimb} indicates significant differences with Vimb group; ^{Fimb} indicates significant differences with Fimb group; ^{WB} indicates significant differences with WB group. Time effects (*P*-values): T5: 0.05; T10: 0.007; T20: 0.002; T30: 0.001; MSS: 0.002; SM: 0.004; 1RM-SQ: 0.007. Group \times time interactions (*P*-values): T5: 0.91; T10: 0.08; T20: 0.38; T30: 0.88; MSS: 0.58; SM: 0.53; 1RM-SQ: 0.88.

2 factorial ANOVA with Bonferroni's *post-hoc* comparisons using one between-group factor (Vimb vs. Fimb vs. WB vs. NI) and one within-group factor (Pre vs. Post-training). Additionally, these differences were further analysed based on Cohen's "d" Effect Size (ES) (95% confidence interval). Significance was accepted at the $p \leq 0.05$ level. Statistical analyses were performed using SPSS software version 20.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

3. Results

3.1. Running sprint performance

No significant "group" \times "time" interactions were observed for any running sprint performance (Table 4). Significant "time" effects ($P < 0.05$) were found for all parameters examined (T5, T10, T20, T30, MSS,

and SM). The WB group induced significant enhancements in T10, T20, T30, MSS and SM, whereas Fimb attained significant gains in T20 and T30 performance (Table 4). Moreover, the Vimb group showed almost significant improvements ($P = 0.08$) in T10 and T20 performance. The NI group attained significant improvements ($P < 0.05$) in SM. The ES values are reported in Table 4.

3.2. Squat strength and jump height

No significant "group" \times "time" interactions were observed for squat and jump performance. Significant "time" effects ($P < 0.05$) were found for 1RM-SQ, whereas no "time" effects were observed for jump height (CMJ and SJ). Although no significant intra-groups improvements were observed for 1RM-SQ, the Fimb group attained almost significant gains ($P = 0.07$) in this parameter. The NI group showed a significant decrease ($P < 0.05$) in SJ performance.

Table 5
Changes in force-velocity mechanical variables and jump height pre- and post-training (Mean \pm SD)

Group	Variable	Pre	Post	Intra-group <i>P</i> -value	ES	95% CI
Vimb (<i>n</i> = 6)	V0 (m·s ⁻¹)	2.14 \pm 0.21	2.57 \pm 0.36	0.04	1.43	(-2.68; -0.11)
	F0 (N·kg ⁻¹)	46.45 \pm 7.46	40.07 \pm 5.86	0.002	-0.95	(-0.27; 2.13)
	Pmax (W·kg ⁻¹)	24.75 \pm 3.25	25.73 \pm 5.15	0.31	0.23	(-1.35; 0.91)
	Fvimb (%)	133.50 \pm 28.32	95.17 \pm 17.27	0.001	-1.63	(0.27; 2.93)
	CMJ (cm)	34.92 \pm 4.80	34.43 \pm 4.98	0.62	-0.10	(-1.03; 1.23)
	SJ (cm)	29.61 \pm 2.50	31.15 \pm 4.86	0.15	0.40	(-1.53; 0.75)
Fimb (<i>n</i> = 11)	V0 (m·s ⁻¹)	3.04 \pm 0.44 ^{Vimb}	2.59 \pm 0.28	0.005	-1.20	(0.28; 2.11)
	F0 (N·kg ⁻¹)	32.28 \pm 3.48 ^{Vimb}	35.80 \pm 3.52	0.02	1.00	(-1.88; -0.10)
	Pmax (W·kg ⁻¹)	24.46 \pm 3.79	23.13 \pm 3.15	0.07	-0.38	(-0.46; 1.22)
	Fvimb (%)	68.82 \pm 8.52 ^{Vimb}	87.55 \pm 12.99	0.02	1.70	(-2.67; -0.70)
	CMJ (cm)	32.70 \pm 4.25	33.26 \pm 4.06	0.44	0.13	(-0.97; 0.70)
	SJ (cm)	29.47 \pm 4.66	28.96 \pm 3.44	0.50	-0.12	(-0.71; 0.96)
WB (<i>n</i> = 9)	V0 (m·s ⁻¹)	2.63 \pm 0.26 ^{Vimb, Fimb}	2.49 \pm 0.32	0.41	-0.46	(-0.47; 1.39)
	F0 (N·kg ⁻¹)	37.04 \pm 2.63 ^{Vimb}	38.33 \pm 4.75	0.474	0.33	(-1.26; 0.60)
	Pmax (W·kg ⁻¹)	24.37 \pm 3.03	23.62 \pm 2.45	0.34	-0.27	(-0.65; 1.19)
	Fvimb (%)	97.33 \pm 6.04 ^{Vimb, Fimb}	99.44 \pm 23.39	0.81	0.26	(-1.21; 0.69)
	CMJ (cm)	35.78 \pm 6.40	34.99 \pm 5.27	0.34	-0.13	(-0.79; 1.05)
	SJ (cm)	30.60 \pm 4.88	29.69 \pm 3.84	0.29	-0.20	(-0.72; 1.13)
NI (<i>n</i> = 8)	V0 (m·s ⁻¹)	2.68 \pm 0.21 ^{Vimb}	2.72 \pm 0.52	0.82	0.09	(-1.07; 0.88)
	F0 (N·kg ⁻¹)	33.74 \pm 3.82 ^{Vimb}	33.55 \pm 4.72	0.319	-0.04	(-0.93; 1.02)
	Pmax (W·kg ⁻¹)	22.65 \pm 3.29	22.57 \pm 3.49	0.92	-0.02	(-0.95; 1.00)
	Fvimb (%)	81.38 \pm 14.76 ^{Vimb}	81.38 \pm 20.01	1.00	0.00	(-0.97; 0.97)
	CMJ (cm)	34.24 \pm 5.33	32.26 \pm 5.02	0.03	-0.38	(-0.63; 1.36)
	SJ (cm)	28.68 \pm 4.36	28.61 \pm 4.34	0.34	-0.01	(-0.96; 0.99)

Groups: velocity imbalance (Vimb); force imbalance (Fimb); well-balanced (WB); Not individualised (NI); ES: effect size of intra-group effects; 95% CI: confidence interval; V0: theoretical maximum velocity; F0: theoretical maximum force; Pmax: maximum power; Fvimb: imbalance of the force-velocity profile; CMJ: countermovement jump; SJ: squat jump; Fvimb: imbalance of the force-velocity profile. Inter-group significant differences at the corresponding time-point: ^{Vimb} indicates significant differences with Vimb group; ^{Fimb} indicates significant differences with Fimb group. Time effects (*P*-values): V0: 0.72; F0: 0.60; Pmax: 0.48; Fvimb: 0.33; CMJ: 0.12; SJ: 0.98. Group \times time interactions (*P*-values): V0: 0.01; F0: 0.003; Pmax: 0.26; Fvimb: 0.002; CMJ: 0.18; SJ: 0.52.

3.3. Force-velocity profile

Significant “group” \times “time” interactions ($P < 0.05$) were observed for V0, F0 and Fvimb (Table 5). Since groups were divided according their Fvimb, significant differences between groups ($P < 0.005$, Table 5) were observed in V0, F0 and Fvimb at Pre-training. However, these differences disappeared at Post-training. The Vimb group significantly ($P < 0.05$) increased V0, whereas decreased F0 and Fvimb. The Fimb group showed significant ($P < 0.05$) decreases in V0, whereas increased F0 and Fvimb. The WB and NI groups did not show any significant change in these parameters. The ES values are presented in Table 5.

4. Discussion

The aim of this study was to experimentally examine the effects on lower limbs strength, jump and sprint performance after following an individualized RT programme based on Fvimb. In the present study, results

showed that individualized RT programme based on Fvimb induce improvements in sprint performance, whereas the NI athletes showed improvements only in SM. Moreover, individualized RT programmes based on Fvimb induced better adjustments of the Fv profile to the theoretical “optimal” Fv profile, although none of the groups improved 1RM-SQ strength, jump height or Pmax.

In rugby, sprint speed, BM and SM discriminate between levels of play [23]. Additionally, WB athletes improved not only sprint times in all intervals but MSS and SM. Moreover, the other “individualised” groups (Vimb and Fimb) also improved sprint performance. Young et al. [24] mentioned that sprints from a static start in a relatively short distance, such as 10 m, is a reflection of the acceleration ability, and therefore it could be expected an improvement in their initial sprint momentum. Baker and Newton [25] suggested that rugby players should focus on increasing strength and power along with muscle hypertrophy, improving on this way sprint momentum, which would be beneficial to cope with the contacts and tackles demands during games [26].

Likewise, and despite the substantial changes found in Fvimb across all “individualised” groups, no improvements were observed in jumping ability or Pmax after the intervention programme in highly trained rugby players. These findings do not support previous findings by Jiménez-Reyes et al. [13], who reported that reducing Fvimb without even increasing Pmax lead to clearly beneficial jump performance changes. Our findings do not support this suggestion, since none of the intervention groups increased jump performance despite obtaining a more “optimal” Fv profile. Regardless of this lack of “positive” results, Fvimb could be considered as a potentially useful variable for prescribing optimal RT loads to improve sprint and lower limbs strength. It is plausible to suggest that the lack of effectiveness in jumping ability in all groups could be due, in part, to the presence of neuromuscular fatigue that is accumulating throughout the season, as reported recently with high level athletes [27]. Moreover, another possible explanation could be that rugby players participating in the present study possibly needed more weeks to show positive effects on jumping ability and Pmax.

Regarding RT, it has been shown that higher levels of strength are associated with improvements in Fv characteristics, general and specific sports skills [28]. The results reported in the current study confirm that when imbalances are not individually addressed, as for NI athletes, the training programme was not effective in reducing Fvimb or improving jumping ability. In line with the findings of Jiménez-Reyes et al. [13] athletes participating in training programmes based on their Fvimb will get better results (at least they did not decrease jump performance) than those who participated in traditional training. It is likely, therefore, that an individualised RT based on Fvimb will improve strength and sprint performance in lower limbs, although a question arises as improvements in jumping ability did not occur. In this regard, Jiménez-Reyes et al. [13] only analysed changes in jumping ability. In addition, although no significant intra-groups improvements were observed for 1RM-SQ, the Fimb group was the only one that attained nearly significant gains ($P = 0.07$) in 1RM-SQ. In this regard, it seems that carrying out an individualised RT program based on Fvimb induced increases in 1RM-SQ strength. However, it should be recognised that improvements in maximal strength through RT is not unexpected. Previous studies have clearly shown the effectiveness of strength training aiming at specifically increasing maximal force [29–32].

The results in the mechanical variables (Table 5), showed positive changes in the area of the curve that was prioritized in their training and, in turn, reduced the opposite one. These findings are in agreement with Jiménez-Reyes et al. [13], who reported that when training was focused on increasing V0, a parallel decrease in F0 was observed, and vice-versa. Therefore, caution should be taken when only is prioritised an extreme of the Fv spectrum aiming to attain the “optimal” profile, because it can induce decreases in the opposite extreme, being this a plausible explanation of the lack of positive adaptations in squat strength and jump performance. Therefore, the interpretation of Fv profile should be considered taking into account the changes in F0 and V0, since a decrease in both variables (F0 and V0) could result in lower Fvimb but could induce a lower athletic performance. Results in Fimb players, are consistent with previous findings in youth soccer players, in which after a RT program with low loads and low volume combined with jumps and sprints, induced important improvements in performance [20]. Regarding the use of heavy loads in RT, a study reported improvements in muscle performance in the upper portion of the force-velocity curve [33]. In Fimb athletes, results showed almost significant ($P = 0.07$) improvements in 1RM-SQ, which is in line with the increases in F0.

The aim of a RT program with different loads is to target all areas of the Fv curve as an attempt to increase adaptations across the whole Fv spectrum [33]. Although no changes were found in jump height and 1RM-SQ, WB players improved sprint performance across distances from T10 to T30. Therefore, these findings suggest that strategies combining low and high loads could be useful for the development of sprinting speed in rugby players with a well-balanced Fv profile. An interesting finding of the current study was the fact that WB had significant changes in some testing variables, whereas the NI athletes did not, despite an identical loading regime was carried out. Consequently, it is plausible that more significant improvements in athletic performance may occur following an individualized RT program when taking into consideration individual Fvimb. However, this hypothesis needs to be further investigated. Present findings are limited to the specific population analysed, thus caution must be made, as when training is applied to high-level team sports athletes, the effects of periodised RT programmes on strength and power seem to follow the law of diminishing returns, while training exposure increases, adaptation rates are reduced [34].

We invite further research to address some limitations of this study and analyse; a) the effect of individualised loading prescription using individual Fvimb, without modifications on the approach used by Jimenez-Reyes [13,14]; b) the effect of training programs with more training sessions and weeks, since only 14 training sessions during 7 weeks were performed in this study. Additionally, a larger sample size would be needed since recruitment led to a Vimb group of only 6 participants while Fimb, WB and NI groups included 11, 9 and 8 participants, respectively.

In practical terms, rugby player's assessment should include Fvimb to individualise training loads according to the needs of each athlete, aiming to identify in which area of the Fv spectrum an athlete needs to prioritize their RT. However, it seems that the entire Fv spectrum should be targeted (although one zone is prioritised) to avoid decreases in the untrained zone. Therefore, strength and conditioning coaches should also assess 1RM strength (to determine exactly the relative and absolute loads to be used) and sprint speed. The combination of these assessments together with well-designed training programmes can lead to improvements in lower limbs absolute strength and sprint performance, which are key qualities in rugby union players.

5. Conclusion

In conclusion, this study presents data of the effects on key physical characteristics of rugby union players when addressing force-velocity imbalances. The individualisation of a training programme based on Fvimb could be an effective method to improve sprint and strength performance. Reducing the actual force-velocity imbalances may have a positive impact in other maximal actions such as acceleration ability, speed and strength. However, no positive changes were observed in jump performance for any of the intervention groups.

Acknowledgments

We would like to thank rugby clubs and players for their support and cooperation in the present project.

Conflict of interest

No potential conflict of interest was reported by the authors.

References

- [1] Cross MR, Brughelli M, Brown SR, Samozino P, Gill ND, Cronin JB, et al. Mechanical properties of sprinting in elite rugby union and rugby league. *Int J Sports Physiol Perform*. 2015; 10(6): 695–702.
- [2] Roberts SP, Trewartha G, Higgitt RJ, El-Abd J, Stokes KA. The physical demands of elite English rugby union. *J Sports Sci*. 2008; 26(8): 825–833.
- [3] Furlong L-AM, Harrison AJ, Jensen RL. Measures of Strength and Jump Performance Can Predict 30-m Sprint Time in Rugby Union Players. *J Strength Cond Res*. 2019; April 17. doi: 10.1519/JSC.0000000000003170. [Epub ahead of print].
- [4] Mora-Custodio R, Rodríguez-Rosell D, Pareja-Blanco F, Yañez-García J, González-Badillo J. Effect of low- vs. Moderate-load squat training on strength, jump and sprint performance in physically active women. *Int J Sports Med*. 2016; 37(6): 476–482.
- [5] Pareja-Blanco F, Asián-Clemente JA, Sáez de Villarreal E. Combined squat and light-load resisted sprint training for improving athletic performance. *J Strength Cond Res*. 2019; Apr 23. doi: 10.1519/JSC.0000000000003171. [Epub ahead of print].
- [6] McMaster D, Gill N, McGuigan M, Cronin J. Effects of complex strength and ballistic training on maximum strength, sprint ability and force-velocity-power profiles of semi-professional rugby union players. *J Aust Strength Cond*. 2014; 22(1): 17–30.
- [7] Samozino P, Rejc E, Di Prampero PE, Belli A, Morin J-B. Optimal force-velocity profile in ballistic movements-altius: Citius or fortius? *Med Sci Sports Exerc*. 2012; 44(2): 313–322.
- [8] Samozino P, Morin JB, Hintzy F, Belli A. A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *J Biomech*. 2008; 41(14): 2940–2945.
- [9] Janicijevic D, Knezevic O, Mirkov D, Pérez-castilla A, Petrovic M, Samozino P, et al. Assessment of the force-velocity relationship during vertical jumps: Influence of the starting position, analysis procedures and number of loads. *Eur J Sport Sci*. 2019; Aug 2: 1–10. doi: 10.1080/17461391.2019.1645886. [Epub ahead of print].
- [10] Giroux C, Rabita G, Chollet D, Guilhem G. Optimal balance between force and velocity differs among world-class athletes. *J Appl Biomech*. 2016; 32(1): 59–68.
- [11] Morin J-B, Samozino P. Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016; 11(2): 267–272.
- [12] Hansen KT, Cronin JB, Pickering SL, Douglas L. Do force-time and power-time measures in a loaded jump squat differentiate between speed performance and playing level in elite and elite junior rugby union players? *J Strength Cond Res*. 2011; 25(9): 2382–2391.
- [13] Jiménez-Reyes P, Samozino P, Brughelli M, Morin J-BB. Effectiveness of an individualized training based on force-velocity profiling during jumping. *Front Physiol*. 2017; 7(JAN): 1–13.
- [14] Jiménez-Reyes P, Samozino P, Morin JB. Optimized training for jumping performance using the force-velocity imbalance: Individual adaptation kinetics. *PLoS One*. 2019; 14(5): 1–20.
- [15] Rakovic E, Paulsen G, Helland C, Eriksrud O, Haugen T. The effect of individualised sprint training in elite female team sport athletes: A pilot study. *J Sports Sci*. 2018; 36(24): 2802–2808.

- [16] Foster C, Florhaug JA, Franklin J, Gottschall L, Hrovatin LA, Parker S, et al. A new approach to monitoring exercise training. *J Strength Cond Res.* 2001; 15(1): 109-115.
- [17] Marcote-Pequeño R, García-Ramos A, Cuadrado-Peñañiel V, González-Hernández JM, Gómez MÁ, Jiménez-Reyes P. Association between the force-velocity profile and performance variables obtained in jumping and sprinting in elite female soccer players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2019; 14(2): 209-215.
- [18] García-Ramos A, Feriche B, Pérez-Castilla A, Padial P, Jaric S. Assessment of leg muscles mechanical capacities: Which jump, loading, and variable type provide the most reliable outcomes? *Eur J Sport Sci.* 2017; 17(6): 690-698.
- [19] Vivancos A, Zambudio A, Ramírez F, Del Águila A, Castrilón F, Pardo P. OC14 Reliability and validity of a linear position transducer for strength assessment. *Br J Sports Med.* 2014; 48(Suppl 3): A5.2-A5.
- [20] Franco-Márquez F, Rodríguez-Rosell D, González-Suárez J, Pareja-Blanco F, Mora-Custodio R, Yañez-García J, et al. Effects of combined resistance training and plyometrics on physical performance in young soccer players. *Int J Sports Med.* 2015; 36(11): 906-914.
- [21] Sánchez-Medina L, Pallarés J, Pérez C, Morán-Navarro R, González-Badillo JJ. Estimation of relative load from bar velocity in the full back squat exercise. *Sport Med Int Open.* 2017; 1(2): E80-8.
- [22] Jalilvand F, Banoozy NK, Rumpf MC, Lockie RG. Relationship between body mass, peak power, and power-to-body mass ratio on sprint velocity and momentum in high-school football players. *J Strength Cond Res.* 2018; 33(7): 1871-1877.
- [23] Jones B, Weaving D, Tee J, Darrall-Jones J, Weakley J, Phibbs P, et al. Bigger, stronger, faster, fitter: the differences in physical qualities of school and academy rugby union players. *J Sports Sci.* 2018; 36(21): 2399-2404.
- [24] Young W, Russell A, Burge P, Clarke A, Cormack S, Stewart G. The use of sprint tests for assessment of speed qualities of elite Australian rules footballers. *Int J Sports Physiol Perform.* 2008; 3(2): 199-206.
- [25] Baker DG, Newton RU. Comparison of lower body strength, power, acceleration, speed, agility, and sprint momentum to describe and compare playing rank among professional rugby league players. *J Strength Cond Res.* 2008; 22(1): 153-158.
- [26] Duthie G, Pyne D, Hooper S. Applied physiology and game analysis of rugby union. *Sport Med.* 2003; 33(13): 973-991.
- [27] Talpey SW, Axtell R, Gardner E, James L. Changes in lower body muscular performance following a season of NCAA division I men's lacrosse. *Sport.* 2019; 7(1): 1-12.
- [28] Suchomel TJ, Nimphius S, Stone MH. The importance of muscular strength in athletic performance. *Sport Med.* 2016; 46(10): 1419-1449.
- [29] Cormie P, Mccauley GO, Triplett NT, McBride JM. Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Med Sci Sports Exerc.* 2007; 39(2): 340-349.
- [30] Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Med Sci Sports Exerc.* 2010; 42(8): 1582-1598.
- [31] Vikmoen O, Rønnestad BR, Enefsen S, Raastad T. Heavy strength training improves running and cycling performance following prolonged submaximal work in well-trained female athletes. *Physiol Fem.* 2017; 5(5): e13149.
- [32] Rønnestad BR, Hansen EA, Raastad T. High volume of endurance training impairs adaptations to 12 weeks of strength training in well trained endurance athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2012; 112(4): 1457-1466.
- [33] Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: Part 2 training considerations for improving maximal power production. *Sport Med.* 2011; 41(2): 125-146.
- [34] McMaster DT, Gill N, Cronin J, McGuigan M. The development, retention and decay rates of strength and power in elite rugby union, rugby league and American football: A systematic review. *Sport Med.* 2013; 43(5): 367-384.

Muscle Activity, Leg Stiffness, and Kinematics During Unresisted and Resisted Sprinting Conditions

Santiago Zabaloy,^{1,2} Jorge Carlos-Vivas,³ Tomás T. Freitas,³ Fernando Pareja-Blanco,^{2,4} Irineu Loturco,^{5,6,7} Thomas Comyns,⁸ Javier Gálvez-González,² and Pedro E. Alcaraz^{3,9}

AU1

¹Faculty of Physical Activity and Sports, Universidad de Flores, Buenos Aires, Argentina; ²Faculty of Sports Sciences, Universidad Pablo de Olavide, Seville, Spain; ³UCAM Research Center for High Performance Sport, Catholic University of Murcia, Murcia, Spain; ⁴Physical Performance & Athletic Research Center, Universidad Pablo de Olavide, Seville, Spain; ⁵NAR—Nucleus of High Performance in Sport, São Paulo, Brazil; ⁶Department of Human Movement Sciences, Federal University of São Paulo, São Paulo, Brazil; ⁷University of South Wales, Pontypridd, Wales, United Kingdom; ⁸Department of Physical Education and Sport Sciences, University of Limerick, Limerick, Ireland; and ⁹Faculty of Sport Sciences, UCAM, Catholic University of Murcia, Murcia, Spain

Abstract

Zabaloy, S, Carlos-Vivas, J, Freitas, TT, Pareja-Blanco, F, Loturco, I, Comyns, T, Gálvez-González, J, and Alcaraz, PE. Muscle activity, leg stiffness and kinematics during unresisted and resisted sprinting conditions. *J Strength Cond Res* XX(X): 000–000, 2020—This study aimed to compare muscle activity, leg stiffness, and kinematics (contact and flight time [FT], stride length and frequency, and trunk angle [TA]) of unloaded sprinting to resisted sprint (RST) using different loads. Twelve male rugby players (age: 23.5 ± 5.1 years; height: 1.79 ± 0.04 m; body mass 82.5 ± 13.1 kg) performed 30-m sprints using different loading conditions (0, 10, 30 and 50% of velocity loss—Vloss—from the maximum velocity reached under unloaded condition). Muscle activity from 4 muscles (biceps femoris long head, rectus femoris [RF], gluteus medius and gastrocnemius), leg stiffness (K_{leg}), and kinematics (TA, contact time, FT, stride length and frequency) were measured during the acceleration and maximum velocity (V_{max}) phases of each sprint. Heavier loads led to significantly lower biceps femoris long head activation and higher rectus femoris activity ($p < 0.01$ – 0.05). Significant reductions in K_{leg} were observed as loading increased ($p < 0.001$ – 0.05). Kinematic variables showed substantial changes with higher loads during the acceleration and V_{max} phase. In conclusion, the heavier the sled load, the higher the disruptions in muscle activity, K_{leg} , and kinematics. When coaches and practitioners intend to conduct training-resisted sprint training sessions without provoking great disruptions in sprint technique, very-heavy sled loads (greater than 30% Vloss) should be avoided. However, heavy sled loads may allow athletes to keep specific positions of the early acceleration phase for longer time intervals (i.e., first 2–3 strides during unresisted sprints).

Key Words: neuromuscular activity, acceleration, maximum speed, team-sports, performance

Introduction

Rugby is an intermittent sport characterized by multiple high-intensity activities, interspersed by low-intensity actions, and by the engagement of players in physically demanding contests such as tackles, rucks, and mauls to gain possession of the ball (8). Positions in rugby are usually classified as forwards and backs, where forwards take part in scrums and line-outs and backs participate in more open play actions (13). Regarding athletic performance, backs usually cover greater distances at higher velocities than forwards (37). In this regard, Yamamoto et al. (42) reported that backs covered higher distance at high-velocity (715.0 ± 242.9 vs. 317.4 ± 136.9 m, respectively) and performed higher number of accelerations (100.8 ± 19.6 vs. 76.3 ± 18.9 accelerations, respectively) than forwards during elite rugby matches. Therefore, sprint performance is a physical measure of

particular interest to the strength and conditioning professional working with rugby because of the great frequency of high-velocity actions in the modern game (16). In addition, a successful rugby athlete must be proficient over the different phases of sprint running, including initial acceleration and maximum velocity (V_{max}) phases to compete at the elite level (11). With this in mind, there has been a growing interest on the study of sprint-oriented training methods, particularly, resisted sprint training (RST). When considering RST, different authors seem to agree that the use of an appropriate load may be an important requirement to produce positive adaptations (2,3). So, if the aim is to develop the high-velocity part of the force-velocity curve, light loads should be used (1). In contrast, resisted sprint acceleration training with very-heavy sled loads clearly forces athletes to run slower and, as a consequence, they will have longer times to apply higher amounts of force during a forward-oriented body position while sprinting, which seems to be more recommended for improving initial acceleration (31). In fact, Kawamori et al. (24) observed positive effects on acceleration ability (i.e., 5- and 10-m sprint times) after 8 weeks of RST with a load of 43% body mass (BM).

From a kinematic perspective, coaches usually recommend the use of relatively light loads, because excessively heavy loads could

Address correspondence to Santiago Zabaloy, cszab1@alu.upo.es.

Supplemental digital content is available for this article. Direct URL citations appear in the printed text and are provided in the HTML and PDF versions of this article on the journal's Web site (<http://journals.lww.com/nsca-jscr>).

Journal of Strength and Conditioning Research 00(00)/1–8

© 2020 National Strength and Conditioning Association

affect running mechanics (24). According to Alcaraz et al. (2), towing a weighted sled may reduce the athlete's stride length and frequency, increase ground contact time (CT) and the forward lean of the trunk, and produce some changes in the configuration of the athlete's lower limbs during the ground contact phase. As such, it has been suggested that a load that reduces the velocity of the athlete more than 10% of the unloaded sprint velocity may elicit substantial changes in running mechanics (2). Another important aspect to contemplate is that RST has been suggested to lead to higher acute fatigue responses (39) and changes in joint angles during sprinting (10). Thus, the overload experienced by the muscle groups involved in sprinting could be different and, consequently, affect sprint mechanics and performance. In this regard, it should be noted that, despite the acute changes mentioned, the long-term adaptations to very-heavy sled loading still needs to be further investigated (31).

To clarify the above-mentioned issues, the use of electromyography (EMG) may potentially be useful in providing additional information on muscle activity and examining changes in muscle contraction speed or fatigue (21) during RST under different load intensities. In the dissimilarities between short and maximum velocity sprints, it has been reported that muscle activation may be different depending on the sprinting phase (43). Particularly, the knee extensors (i.e., quadriceps) have been reported to be relatively more important for acceleration sprints and the hip extensors (i.e., gluteus and hamstrings) relatively more important for higher velocity phases (43). These findings by Young et al. (43) differ from more recent results reported in the literature. In fact, during the acceleration phase, the activation demands of the biceps femoris long head (BFLh) muscle at early stance is high because a greater hip extension moment is required (19). In contrast, during the Vmax phase, the semitendinosus shows a high activation at the end of touchdown and an intermediate activation during the recovery phase, when the knee is extended and a greater knee flexion moment is required (19).

During sprinting, leg stiffness (K_{leg}) is proposed to be of substantial importance (9), because the development of maximal velocity during sprint is accompanied by longer step length and increases in K_{leg} (33). In addition, a stiffer leg spring will generate an increased vertical ground reaction force, facilitating the storage and return of elastic energy, thus increasing the step frequency and reducing ground CT (9,15,25). Thus, to understand more precisely the changes in sprint motor pattern during RST, further investigation is needed on the acute changes in EMG activity of the main muscle groups involved in sprinting, and on the potential changes in K_{leg} and kinematics across different RST loading conditions. Moreover, despite the increasing use of this RST, there is a lack of studies examining the lower limb muscles' activity under different sled loading conditions. The main purpose of the present study was to analyze and compare the effects of unresisted and RST using different loading conditions (i.e., 0, 10, 30 and 50% Vloss) on muscle activity, leg stiffness, and kinematics during 30-m sprints in amateur rugby players. We hypothesized that heavier sled loads would provoke greater disruptions in muscle activity, K_{leg} , and sprinting technique (assessed by kinematic analysis).

AU2

Methods

Experimental Approach to the Problem

A randomized and descriptive cross-sectional study was performed. Assessments were conducted on 2 nonconsecutive days,

with 72 hours of rest to avoid possible interferences caused by fatigue. On the first day, 30-m sprint tests, under different loading conditions applied (i.e., 0, 20, 40, 60 and 80% BM) were randomly performed, to obtain an individual linear regression equation that would indicate the required load to reach each planned Vloss condition (12). On the second day, participants were divided into groups of 3 athletes (1 athlete at a time, ~1 hour per athlete) to study the effects on muscle activation, K_{leg} , and kinematics. The sprint test consisted of 30-m sprints using different loading conditions (0, 10, 30 and 50% of Vloss from the maximum velocity reached under unloaded condition). Both testing days were performed on the same outdoor natural turf rugby field. All subjects performed a specific standardized warm-up before testing. The warm-up incorporated dynamic stretching and sprint-specific drills and was concluded with 3–5 repetitions of submaximal 30-m sprints. The unloaded sprint was performed first (to avoid a possible potentiation effect on the following trials) and, then, the loading conditions in randomized order.

Subjects

AU3 AU4

Twelve healthy and active male amateur rugby players (age: 23.5 ± 5.1 years; height: 1.79 ± 0.04 m; BM: 82.5 ± 13.1 kg) were recruited. The inclusion criteria were: (a) healthy and trained rugby players; (b) no injuries or medical conditions in the last 6 months; and (c) at least one year of experience in RST. Subjects were fully informed of the requirements of the investigation and signed an informed consent before participation. The study was approved by the Institutional Research Ethics Committee (Murcia, Spain) and was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki.

Procedures

Sprint Test for Individual Regression Equation Computation. Two 30-m sprints were performed for each load condition (0, 20, 40, 60 and 80% BM) with ~4 minutes of rest between trials and subjects starting in a two-point stance position. A radar gun (Stalker ATS II, Applied Concepts, Richardson, TX) was used to measure instantaneous velocity using a sampling frequency of 47 Hz. The radar was placed 5 m behind the starting line using a tripod at 1-m height. The best sprint time with each condition was used for analysis. A sled towing device (Power systems, Power sled, weight: 13.4 kg) fixed to the athlete with a belt close to the center of mass (CoM) and a 3.5-m long strap attached to the sled was used.

Sprint Test for Assessing Muscle Activation and Kinematics. Subjects performed 2 10-m and 2 30-m sprints under each condition (0, 10, 30 and 50% Vloss) with ~4 minutes of recovery between trials. Subjects started on a two-point stance position, with the front foot behind a line away that was 1 m from the first timing gate. Photoelectric cells (Microgate, Bolzano, Italy) were placed using a tripod at a 1-m height at the starting line and at 5, 10, 20, 25, and 30 m. Times were recorded within the following distances: 5-m (T_5), 10-m (T_{10}), 20-m (T_{20}), 25-m (T_{25}) and 30-m (T_{30}). Intraclass correlation coefficient (ICC) and coefficient of variation (CV) for relative and absolute reliability for the unloaded condition were: T_5 , >0.84 and <5.3%; T_{10} , >0.93 and <1.8%; T_{20} , >0.97 and <1.0%; T_{25} 0.98 and 0.8%, and T_{30} , >0.98 and <1.0%.

Electromyography Assessment. Electromyography signal was obtained from 4 muscles: BFLh, gastrocnemius (GAS), gluteus medius (GM), and rectus femoris (RF) for each sprint using the MR Noraxon Software v3.4 (Noraxon USA Inc., Scottsdale, AZ).

To assess muscle activity, standard surface EMG electrodes were placed with a 2-cm spacing, along the longitudinal axis of the muscles in the right leg, based on the anatomical reference points and following the SENIAM guidelines for sensor placement (<http://www.seniam.org>). To better identify the positioning of the surface electrodes, palpation of each muscle belly during isometric contractions was performed by an experienced investigator. The area of each electrode site was shaved using a disposable razor and cleaned with alcohol-soaked cotton wool. Once the electrodes were placed, a period of noise was recorded and, subsequently, subjects were asked to perform a maximum sprint in unloaded conditions, which was used to normalize muscle activation in the subsequent loaded trials. The peak EMG activity (microvolts μV) of the second step of the acceleration (0–5 m) and Vmax (20–25 m) phases was recorded and analyzed for each loading condition. Regarding EMG measurement, the muscle activity in both acceleration and Vmax phases was obtained through only one step, for each phase and trial. Before data treatment, custom-made digital filtering (Bandpass filter; 20–500 Hz), rectification and smoothing (Root Mean Square algorithm, 100 ms) were applied to the recorded signal. Each muscle's peak EMG activity during the whole ground contact phase from touchdown to take-off was the variable considered (of note, peaks in EMG data associated to recording “noise” were discarded). Peak values instead of average values were analyzed as the CT against each sled load was different, therefore, we would analyze different time windows for each condition. Intra-class correlation coefficient and CV for all EMG data were: >0.96 and $<5.8\%$, respectively.

Kinematic Analysis. Kinematic variables were determined from the video frames identified as touchdown (first frame, the foot visibly in contact with the ground) and take-off (first frame in which the foot had visibly left the ground) over 30 m using 6 \times zoom in the Kinovea software (v.0.8.15 available at <http://www.kinovea.org>). For this purpose, 2 slow-motion video cameras with a 240-Hz sampling frequency were used (iPhone 7, Apple, Inc., Cupertino, CA). Cameras were fixed on a tripod, 1-m height above the ground level, positioned 10 m adjacent to the testing area and placed in the sagittal plane to analyze acceleration (0–5 m) and Vmax (20–25 m) phases. The footage was calibrated using a pike (1.2-m long), which was located vertically and horizontally in the center of the high-speed camera field of view, and in the center of the running lane in the sagittal plane before each trial to ensure precision in the subsequent analysis. The following kinematic and temporal variables were used in the present study: (a) CT (ms), the time from touchdown to take-off (ICC: >0.97 , CV: $<1.6\%$); (b) Flight time (FT) (ms), time from take-off to the consecutive touchdown (ICC: >0.99 , CV: $<4.6\%$); (c) Stride length (SL) (cm), the distance between 2 ground contacts, from forefoot to forefoot (ICC: >0.97 , CV: $<1.2\%$); (d) Stride frequency (SF) ($\text{steps}\cdot\text{s}^{-1}$), the number of ground contact events per second (ICC: >0.95 , CV: $<3.9\%$); (e) Trunk angle (TA°) was defined as the angle subtended from the shoulder and hip to the vertical axis, with smaller values indicating greater trunk extension (ICC: >0.96 , CV: $<5.8\%$); (f) K_{leg} ($\text{kN}\cdot\text{m}\cdot\text{kg}^{-1}$) was calculated using the sine-wave method which has been reported as a valid and acceptable method elsewhere (32). Lower limb length was then measured from the greater trochanter to tiptoe distance. Reliability for K_{leg} was: ICC >0.95 and CV $<4.6\%$. All kinematic variables were calculated at the touchdown moment, on the second contact of each foot and for each phase of the sprint, under all loading conditions. Each video was analyzed twice by the same

observer to determine an intra-observer reliability. Data were exported for post analysis and calculations.

Statistical Analyses

Descriptive statistics summarized all demographic characteristics and outcomes. Data are presented as mean and SD. SPSS (version 24.0, SPSS, Inc., Chicago, IL) for Microsoft Windows was used for calculating mean and SD, ICC (One-way random effects model) and CV for all measured variables. Differences between all measured dependent variables were computed using a one-way repeated measure analysis of variance with Bonferroni *post-hoc*. The Cohen's *d* effect size (ES) values with a 90% confidence interval were also calculated (20). Threshold values for Cohen's ES statistics were: >0.2 small, >0.6 moderate, >1.2 large, >2.0 very large and >4.0 nearly perfect (20). An alpha level of $p < 0.05$ was chosen as the criterion for significance.

Results

Muscle activation comparisons for acceleration and Vmax phases against the different loading conditions are presented in Figure 1 and Table 1. Biceps femoris long head activity significantly decreased and RF activity increased with increasing loads during the acceleration phase. These differences were more pronounced at Vmax phase. In contrast, GM and GA activity remained unchanged across loading conditions. [F1] [T1]

Sprint time, TA, and K_{leg} for acceleration and Vmax phases are presented in Figure 2 and Table 2. Sprint time and TA° increased as sled loads increased. Significant reductions in K_{leg} were observed with increased sled loads in the acceleration phase, except between 0 and 10% Vloss ($p < 0.001$ – 0.05 , Table 3). By contrast, in the Vmax phase, only the 50% Vloss condition resulted in significant reductions in K_{leg} compared with the remaining conditions (supplementary tables, <http://links.lww.com/JSCR/A198>). [T2] [F2] [T3]

Figure 3 and Table 3 display changes across loading conditions for CT, FT, SL, and SF for the acceleration and Vmax phases. Contact time significantly increased and FT and SL decreased as sled loads increased. No significant differences were observed for SF across loading conditions at any sprint phase examined. [F3]

Discussion

This is the first study to compare muscle activity, K_{leg} , and kinematics across a comprehensive range of loading conditions during unresisted and RST. Overall, our findings confirmed that muscle activation for RF increased whereas BFLh decreased as sled load increased. Furthermore, TA and CT increased, whereas FT and SL decreased with increased sled loads. These differences were even more pronounced at Vmax phase. Finally, as sled load increased, K_{leg} decreased during acceleration phase; nonetheless, in the Vmax phase, only the 50% Vloss condition resulted in significant reductions in K_{leg} compared with the remaining conditions (0, 10 and 30% Vloss).

The present findings provide novel insights regarding the role of lower limb muscles (BFLh, GAS, GM and RF) under different RST conditions. To accelerate the body forward, an athlete has to produce a large hip extensor moment in a very limited timeframe to produce high horizontal forces (22). Although this may happen during unloaded sprints, our results suggest that, as the load increases, BFLh activity decreases, probably because of a decreased range of hip motion and, in turn, a shorter SL. During

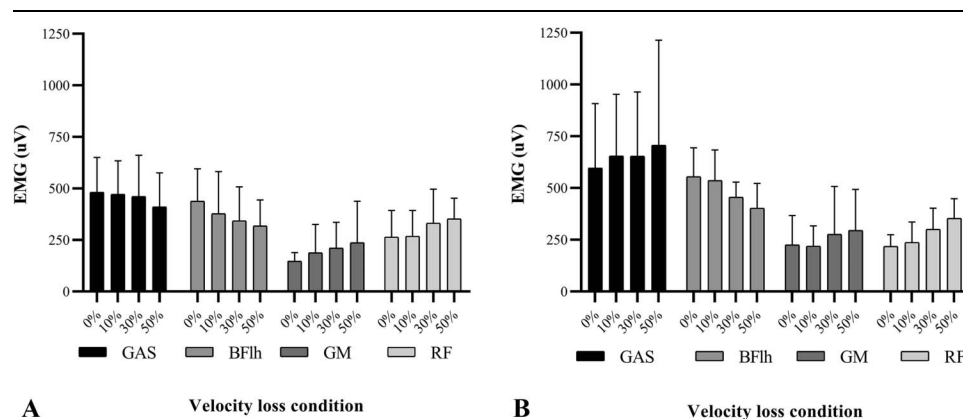


Figure 1. Muscle activation across the different loading conditions during: A) acceleration (0–5 m) and B) maximum-velocity (20–25 m) phases. Data are expressed as mean \pm SD.

RST with heavy-loads, athletes attain larger trunk lean (i.e., increases in TA°), which allows athletes to lower their CoM, helping them to overcome the external overload by increasing the horizontal force application accompanied by an increased contact time (4,23). This approach could make the athletes adopt a movement pattern named “Groucho running” (i.e., running with an increased knee flexion (28)), which may explain the reduced BFlh muscle activity and the increased RF activity. Previous investigations have reported the crucial role played by hamstring muscles in producing propulsive force during sprint performance. For instance, Morin et al. (30) observed that the horizontal ground reaction force produced during sprint acceleration is

related to the BFlh activation just before ground contact. Likewise, Higashihara et al. (18,19) reported that the BFlh muscle is highly activated at the early stance as a strong hip extensor during the acceleration phase, while during the Vmax phase hamstring muscles contribute as strong eccentric knee flexors. In this regard, it should be noted that higher trunk lean at foot strike during sled towing may decrease the braking forces associated with landing (10). As such, the reduced BFlh activation observed with increased sled loads may indicate that these loads do not provide an adequate stimulus, at least for these muscles, for improving sprint performance. By contrast, an increased RF activation was observed as sled load increased, which may be

Table 1

Differences in muscle activation during acceleration (0–5 m) and maximum-velocity (20–25 m) phases.*

Muscle group	Comparisons	Acceleration phase			Maximum-velocity phase		
		% Δ \pm CI (90%)	ES \pm CI (90%)	<i>p</i>	% Δ \pm CI (90%)	ES \pm CI (90%)	<i>p</i>
Gastrocnemius	0 vs. 10%	−9.9 \pm 50.6	−0.18 \pm 0.79	0.669	10.5 \pm 39.6	0.19 \pm 0.62	0.587
	0 vs. 30%	−7.5 \pm 56.1	−0.14 \pm 0.86	0.757	20.8 \pm 47.8	0.35 \pm 0.73	0.391
	0 vs. 50%	−16.6 \pm 25.5	−0.35 \pm 0.44	0.173	10.7 \pm 22.9	0.19 \pm 0.38	0.385
	10 vs. 30%	−7.8 \pm 12.5	−0.16 \pm 0.23	0.222	6.3 \pm 28.7	0.11 \pm 0.47	0.656
	10 vs. 50%	−25.1 \pm 33.3	−0.64 \pm 0.64	0.099	−6.1 \pm 43.5	−0.15 \pm 0.85	0.753
	30 vs. 50%	−19.9 \pm 44.5	−0.49 \pm 0.82	0.279	−13.9 \pm 55.7	−0.35 \pm 1.04	0.542
Biceps femoris (long head)	0 vs. 10%	−21.9 \pm 42.4	−0.67 \pm 0.95	0.229	−6.0 \pm 13.9	−0.22 \pm 0.46	0.392
	0 vs. 30%	−28.8 \pm 29.3	−0.91 \pm 0.69	0.039†	−17.5 \pm 14.8	−0.67 \pm 0.48	0.032†
	0 vs. 50%	−24.6 \pm 36.5	−0.76 \pm 0.84	0.129	−30.1 \pm 28.0	−1.26 \pm 0.86	0.027†
	10 vs. 30%	−7.2 \pm 20.3	−0.20 \pm 0.50	0.473	−17.5 \pm 12.6	−0.67 \pm 0.42	0.020†
	10 vs. 50%	2.9 \pm 54.6	0.04 \pm 0.65	0.905	−34.6 \pm 16.6	−1.22 \pm 0.44	0.002‡
	30 vs. 50%	6.1 \pm 54.7	0.09 \pm 0.65	0.804	−14.3 \pm 13.7	−0.44 \pm 0.37	0.056
Gluteus medius	0 vs. 10%	22.1 \pm 19.9	0.62 \pm 0.57	0.076	1.1 \pm 30.9	0.01 \pm 0.34	0.940
	0 vs. 30%	37.7 \pm 46.5	1.00 \pm 1.19	0.156	−7.2 \pm 57.5	−0.10 \pm 0.58	0.766
	0 vs. 50%	18.0 \pm 101.7	0.52 \pm 2.20	0.654	−2.3 \pm 70.9	−0.03 \pm 0.68	0.930
	10 vs. 30%	10.7 \pm 40.9	0.32 \pm 1.07	0.596	−9.3 \pm 63.6	−0.11 \pm 0.63	0.737
	10 vs. 50%	−8.9 \pm 101.2	−0.15 \pm 1.16	0.800	−8.2 \pm 148.8	−0.16 \pm 1.75	0.851
	30 vs. 50%	−19.1 \pm 54.9	−0.35 \pm 0.72	0.375	−24.7 \pm 110.3	−0.55 \pm 1.43	0.476
Rectus femoris	0 vs. 10%	1.1 \pm 14.5	0.03 \pm 0.30	0.881	7.5 \pm 20.1	0.24 \pm 0.60	0.485
	0 vs. 30%	26.5 \pm 24.3	0.52 \pm 0.48	0.079	40.7 \pm 18.2	1.12 \pm 0.55	0.005‡
	0 vs. 50%	41.0 \pm 19.7	0.77 \pm 0.40	0.006‡	56.6 \pm 25.7	1.47 \pm 0.75	0.009‡
	10 vs. 30%	25.1 \pm 24.6	0.50 \pm 0.49	0.095	31.8 \pm 15.4	0.91 \pm 0.47	0.006‡
	10 vs. 50%	39.4 \pm 17.9	0.71 \pm 0.35	0.004‡	48.1 \pm 29.8	0.81 \pm 0.54	0.025†
	30 vs. 50%	11.5 \pm 21.2	0.23 \pm 0.41	0.331	9.5 \pm 19.5	0.19 \pm 0.37	0.365

*%Loss = velocity loss induced by sled load from the maximum velocity reached under unloaded condition; % Δ \pm CI (90%) = change in mean as Cohen's effect size \pm 90% confidence intervals; ES \pm CI (90%) = Cohen's effect size \pm 90% confidence intervals.

†*p* -value: *p* < 0.05.

‡*p* -value: *p* < 0.01.

Table 2**Differences in sprint split time, trunk angle, and stiffness during acceleration (0–5 m) and maximum-velocity (20–25 m) phases.***

Variables	Comparisons	Acceleration phase			Maximum-velocity phase		
		% $\Delta \pm$ CI (90%)	ES \pm CI (90%)	<i>p</i>	% $\Delta \pm$ CI (90%)	ES \pm CI (90%)	<i>p</i>
Sprint split time	0 vs. 10%	10.6 \pm 3.6	1.05 \pm 0.36	<0.001†	8.3 \pm 2.7	1.29 \pm 0.43	<0.001†
	0 vs. 30%	36.5 \pm 5.0	3.24 \pm 0.51	<0.001†	45.5 \pm 3.9	6.11 \pm 0.63	<0.001†
	0 vs. 50%	77.8 \pm 10.3	6.00 \pm 1.02	<0.001†	116.5 \pm 9.6	12.59 \pm 1.50	<0.001†
	10 vs. 30%	23.4 \pm 2.6	2.29 \pm 0.27	<0.001†	34.4 \pm 4.3	3.36 \pm 0.48	<0.001†
	10 vs. 50%	60.8 \pm 8.3	5.17 \pm 0.87	<0.001†	99.9 \pm 9.2	7.88 \pm 1.00	<0.001†
	30% vs. 50%	30.3 \pm 6.3	3.05 \pm 0.71	<0.001†	48.7 \pm 8.6	5.76 \pm 1.20	<0.001†
Trunk angle	0 vs. 10%	18.8 \pm 14.5	1.41 \pm 1.11	0.044†	17.6 \pm 57.8	0.42 \pm 1.19	0.528
	0 vs. 30%	19.9 \pm 11.4	1.49 \pm 0.89	0.013†	140.9 \pm 38.1	2.29 \pm 0.84	0.001†
	0 vs. 50%	33.7 \pm 10.2	2.37 \pm 0.79	<0.001†	250.2 \pm 29.2	3.27 \pm 0.67	<0.001†
	10 vs. 30%	0.9 \pm 6.4	0.04 \pm 0.29	0.795	99.0 \pm 27.6	1.79 \pm 0.63	<0.001†
	10 vs. 50%	12.5 \pm 9.3	0.55 \pm 0.42	0.039†	187.1 \pm 29.7	1.92 \pm 0.47	<0.001†
	30 vs. 50%	11.5 \pm 5.6	0.51 \pm 0.26	0.006†	44.2 \pm 11.0	0.67 \pm 0.19	<0.001†
Stiffness	0 vs. 10%	−11.9 \pm 17.2	−0.44 \pm 0.55	0.181	−8.6 \pm 16.4	−0.74 \pm 1.26	0.306
	0 vs. 30%	−36.5 \pm 21.1	−1.57 \pm 0.66	0.002†	−12.0 \pm 14.8	−1.06 \pm 1.15	0.123
	0 vs. 50%	−48.8 \pm 17.9	−2.31 \pm 0.57	<0.001†	−36.6 \pm 14.4	−3.79 \pm 1.12	<0.001†
	10 vs. 30%	−27.9 \pm 21.3	−1.13 \pm 0.67	0.012†	−3.8 \pm 11.9	−0.32 \pm 0.94	0.543
	10 vs. 50%	−41.9 \pm 18.9	−1.68 \pm 0.54	<0.001†	−30.7 \pm 9.8	−1.35 \pm 0.35	<0.001†
	30 vs. 50%	−19.4 \pm 15.5	−0.67 \pm 0.45	0.022†	−28.0 \pm 14.6	−1.21 \pm 0.50	0.002†

*%Vloss = velocity loss induced by sled load from the maximum velocity reached under unloaded condition; % $\Delta \pm$ CI (90%) = change in mean as Cohen's effect size \pm 90% confidence intervals; ES \pm CI (90%) = Cohen's effect size \pm 90% confidence intervals.

†*p*-value: *p* < 0.05.

‡*p*-value: *p* < 0.01.

related to the “Groucho running” position. Hence, it seems that muscle activation patterns change substantially depending on the sled load used. From a practical standpoint, lighter sled loads may be more appropriate to improve abilities more related to later phases of acceleration and Vmax phase, whereas heavier loads may allow athletes to deal with stimulus more consistent with the early phases of acceleration (i.e., first steps). However,

caution must be taken with respect to the generalization of these results obtained with male rugby players. It has recently been reported (40), that only one technical aspect (i.e., toe-off distance) was consistently related to sprinting performance between sprinters and rugby players and, as a result, some limitations exist in how the available information concerning the touchdown and toe-off kinematics and step characteristics of

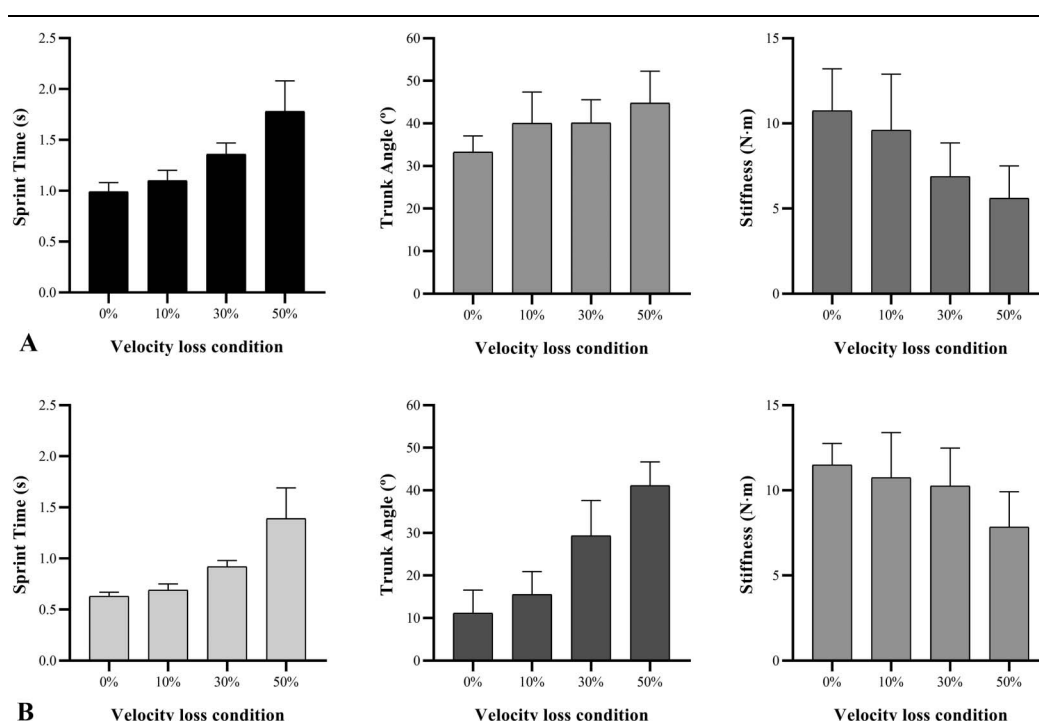


Figure 2. Sprint split time, trunk angle, and leg stiffness across the different loading conditions during: A) Acceleration (0–5 m) and B) maximum-velocity (20–25 m) phases. Data are expressed as mean \pm SD.

Table 3**Differences in contact time, flight time, stride length and stride frequency during acceleration (0–5 m) and maximum-velocity (20–25 m) phases.***

Variables	Comparisons	Acceleration phase			Maximum-velocity phase		
		% $\Delta \pm$ CI (90%)	ES \pm CI (90%)	<i>p</i>	% $\Delta \pm$ CI (90%)	ES \pm CI (90%)	<i>p</i>
Contact time	0 vs. 10%	9.9 \pm 6.7	0.63 \pm 0.43	0.025†	10.8 \pm 4.8	1.10 \pm 0.50	0.003‡
	0 vs. 30%	31.3 \pm 7.1	1.80 \pm 0.45	<0.001‡	36.3 \pm 7.4	3.34 \pm 0.77	<0.001‡
	0 vs. 50%	53.5 \pm 9.7	2.83 \pm 0.61	<0.001‡	74.1 \pm 7.4	5.98 \pm 0.77	<0.001‡
	10 vs. 30%	19.5 \pm 5.1	1.18 \pm 0.33	<0.001‡	23.0 \pm 5.3	2.24 \pm 0.56	<0.001‡
	10 vs. 50%	39.6 \pm 9.2	2.38 \pm 0.63	<0.001‡	57.7 \pm 4.9	3.82 \pm 0.40	<0.001‡
	30 vs. 50%	16.9 \pm 8.7	1.11 \pm 0.60	0.008‡	27.7 \pm 3.9	2.07 \pm 0.32	<0.001‡
Flight time	0 vs. 10%	–13.4 \pm 12.0	–0.40 \pm 0.32	0.046†	–10.9 \pm 9.6	–0.67 \pm 0.53	0.047†
	0 vs. 30%	–52.2 \pm 41.6	–2.07 \pm 0.98	0.004‡	–27.8 \pm 17.2	–1.88 \pm 0.92	0.005‡
	0 vs. 50%	–54.1 \pm 46.0	–2.18 \pm 1.06	0.007‡	–51.1 \pm 33.3	–4.12 \pm 1.66	0.001‡
	10 vs. 30%	–44.8 \pm 31.4	–1.67 \pm 0.76	0.003‡	–18.9 \pm 11.1	–1.21 \pm 0.61	0.005‡
	10 vs. 50%	–46.2 \pm 35.8	–1.47 \pm 0.72	0.008‡	–45.1 \pm 30.1	–3.10 \pm 1.36	0.002‡
	30 vs. 50%	–12.4 \pm 44.6	–0.31 \pm 0.87	0.513	–32.3 \pm 20.1	–2.01 \pm 0.94	0.004‡
Stride length	0 vs. 10%	–3.6 \pm 6.3	–0.22 \pm 0.36	0.293	–8.9 \pm 5.0	–0.78 \pm 0.41	0.007‡
	0 vs. 30%	–28.4 \pm 8.2	–1.99 \pm 0.47	<0.001‡	–25.7 \pm 6.8	–2.51 \pm 0.56	<0.001‡
	0 vs. 50%	–41.7 \pm 8.7	–3.22 \pm 0.50	<0.001‡	–49.2 \pm 13.6	–5.73 \pm 1.08	<0.001‡
	10 vs. 30%	–25.6 \pm 10.6	–1.77 \pm 0.60	0.004‡	–18.5 \pm 5.5	–1.73 \pm 0.46	<0.001‡
	10 vs. 50%	–39.5 \pm 12.9	–3.60 \pm 0.87	<0.001‡	–44.3 \pm 12.6	–5.01 \pm 1.02	<0.001‡
	30 vs. 50%	–18.7 \pm 11.2	–1.48 \pm 0.76	0.006‡	–31.6 \pm 11.4	–3.26 \pm 0.93	<0.001‡
Stride frequency	0 vs. 10%	4.5 \pm 7.4	–0.31 \pm 0.47	0.260	–0.9 \pm 3.7	–0.08 \pm 0.31	0.649
	0 vs. 30%	1.2 \pm 8.3	0.08 \pm 0.53	0.779	–4.6 \pm 6.4	–0.41 \pm 0.53	0.193
	0 vs. 50%	5.7 \pm 12.3	0.37 \pm 0.77	0.389	–5.1 \pm 7.6	–0.45 \pm 0.63	0.223
	10 vs. 30%	6.9 \pm 13.5	0.44 \pm 0.84	0.351	–3.7 \pm 5.5	–0.33 \pm 0.46	0.224
	10 vs. 50%	11.1 \pm 15.8	0.78 \pm 1.09	0.214	–4.2 \pm 5.6	–0.33 \pm 0.42	0.185
	30 vs. 50%	4.3 \pm 9.4	0.31 \pm 0.67	0.397	–3.5 \pm 7.2	–0.27 \pm 0.52	0.372

*%Vloss = velocity loss induced by sled load from the maximum velocity reached under unloaded condition; % $\Delta \pm$ CI (90%) = Change in mean as Cohen's effect size \pm 90% confidence intervals; ES \pm CI (90%) = Cohen's effect size \pm 90% confidence intervals.

†*p*: *p*-value: *p* < 0.05.

‡*p*: *p*-value: *p* < 0.01.

rugby players can be used by coaches when designing RST programs.

Vertical and K_{leg} and the eccentric-concentric coupling or stretch shortening cycle (SSC) are variables that seem to play an important role in sprint running performance (35). K_{leg} decreased with increasing loads, and therefore, given the

importance of K_{leg} for sprint performance (5), this is a crucial aspect to consider. In agreement with our findings, Padua et al. (34) reported lower K_{leg} with increasing sled loading. It should be noted that lower K_{leg} has been linked to inefficient storage and re-utilization of elastic energy during SSC activities, which negatively affects sprint performance (6). Indeed, a short and

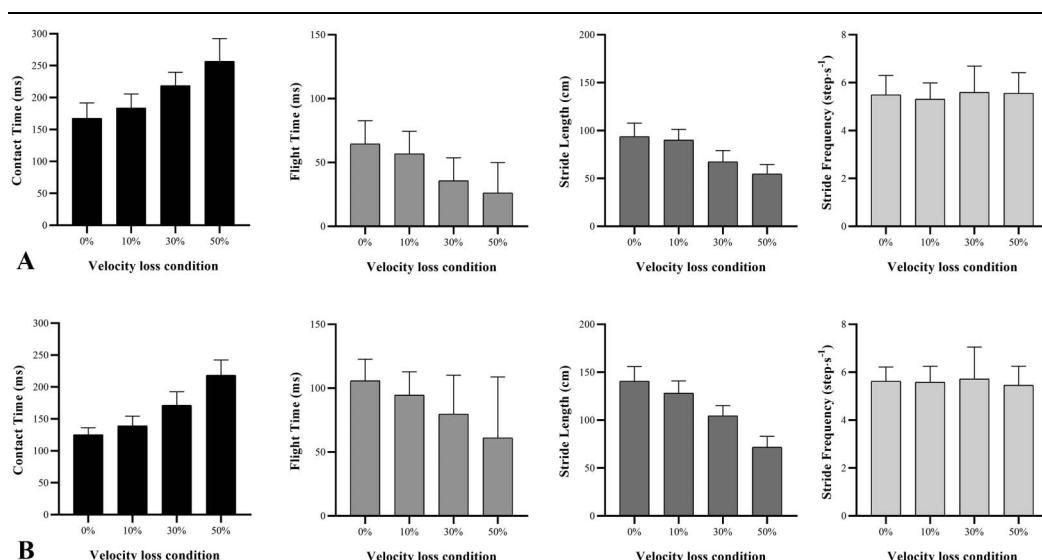


Figure 3. Contact time, flight time, stride length and stride frequency across the different loading conditions during: A) Acceleration (0–5 m) and B) maximum-velocity (20–25 m) phases. Data are expressed as mean \pm SD.

forceful ground contact phase characteristic of a reactively strong subject is postulated to be attained by stronger quasi-isometric muscle action (i.e., of the knee extensors and ankle plantar flexors), superior utilization of elastic structures, and higher rates of force development within the SSC (14,15). It seems that an excessive sled load may limit the development of the SSC and, to a lesser degree, the coupling of the H-reflex, despite the athlete's attempts to maintain the movement pattern (1). This is probably because too much time is spent in the amortization phase during the SSC (41), since longer CT were observed as increased sled load (Table 3). Nevertheless, further research is needed on this matter given that the role of SSC in sprinting has recently been questioned (17).

The present study showed that FT and SL decreased with increasing loads, in line with previous studies (27,29). These differences were even more accentuated in the Vmax phase (Table 3). Shorter FT have been associated with a decrease in SL and an increase in CT, mainly because an athlete must spend a longer time in contact with the ground to overcome the applied load (27,38). Indeed, higher CT would allow athletes to apply greater horizontal force at ground contact, but not to reach higher velocities (36). Of note, faster sprinters present shorter CT compared with their slower counterparts, which suggests that higher running speeds are achieved through reduced CT (35). The greater kinematic alterations observed with increased sled loads may also be related to the higher trunk lean (TA°) observed under this loading condition, which means that the athletes adopt a more forward-leaning position. In this regard, Lockie et al. (27) reported a decrease in SL and running velocity with sled loads of 12.6 and 32.2% BM, accompanied by changes in trunk lean and hip flexion. This body positioning could be more efficient for acceleration purposes, allowing greater application of horizontal force (27), but seems to negatively affect K_{leg} , as reported herein. Sprinters adopt a more forward-inclined angle during the initial acceleration phase compared with later sprinting phases, when they adopt a straighter position (i.e., upright trunk) that allows a longer path to accelerate their foot down and backward before touchdown, hence contributing to an increased vertical force production earlier in the ground contact (26). Although this may be true for unloaded sprints, it also seems that heavier loads (30 and 50% Vloss) may result in athletes sprinting in an atypical and forward incline posture, which is characteristic in the acceleration phase (but not in the Vmax phase). This could explain the larger differences that exist during maximal velocity sprinting for all kinematic variables.

In conclusion, the vast majority of biomechanical and neuromuscular variables change gradually with increased sled loads during RST in rugby players. Therefore, as hypothesized, the heavier the sled loads, the higher the disruptions in muscle activity, K_{leg} , and kinematics. The load that induced a 50% Vloss provoked the most extreme disturbance, as this condition substantially affected EMG activity, K_{leg} , and kinematics and, consequently, this load drastically modified sprint technique. The main limitations of the present study were the small sample size and that EMG was only obtained through the whole ground contact phase of the same foot, from touchdown moment to take-off, not considering the gait cycle as a whole. Furthermore, as the wireless EMG sensors were not able to capture signals beyond 10-m, the acceleration phase of each sprint was done separately from the following 30-m, to analyze the EMG signal at higher velocities. Numerous sprint tests were performed on the same day, which may have induced fatigue

in the subjects. However, sled loads were performed in randomized order; therefore, all conditions have been similarly affected by this fact. Finally, the authors acknowledge that calculations of K_{leg} using the sine-wave method has its intrinsic limitations (9).

Practical Applications

This study provides important information to coaches and practitioners regarding the effects of sled loads during RST on lower limb muscles' activity, K_{leg} , and kinematics in amateur rugby players. Strength and conditioning professionals should be aware that load increment during RST may lead to important modifications in sprinting technique (e.g., altered muscle activation patterns, decreased K_{leg} , SL and frequency, greater TA°), in both early acceleration and maximum velocity phases. Therefore, although heavy sleds (i.e., 30 and 50% Vloss) provide greater mechanical overload and may improve sprint performance over short distances in both sled pull (31) and push (7) sprinting, caution is necessary when using heavy loads, especially when the aim is to replicate traditional sprint movements or muscle activation patterns during unloaded sprints.

Acknowledgments

The authors would like to thank rugby clubs and players for their support and cooperation in the present project. No potential conflict of interest was reported by the authors.

References

1. Alcaraz PE, Carlos-Vivas J, Oponjuru BO, Martínez-Rodríguez A. The effectiveness of resisted sled training (RST) for sprint performance: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 48: 2143–2165, 2018.
2. Alcaraz PE, Palao JM, Elvira JLL, Linthorne NP. Effects of three types of resisted sprint training devices on the kinematics of sprinting at maximum velocity. *J Strength Cond Res* 22: 890–897, 2008.
3. Behrens MJ, Simonson SR. A comparison of the various methods used to enhance sprint speed. *Strength Cond J* 33: 64–71, 2011.
4. Bentley I, Sinclair JK, Atkins SJ, Metcalfe J, Edmundson CJ. Effect of velocity-based loading on acceleration kinetics and kinematics during sled towing. *J Strength Cond Res* 2018. Epub ahead of print.
5. Brazier J, Maloney S, Bishop C, Read PJ, Turner AN. Lower extremity stiffness: Considerations for testing, performance enhancement, and injury risk. *J Strength Cond Res* 33: 1156–1166, 2019.
6. Butler RJ, Crowell HP, Davis IM. Lower extremity stiffness: Implications for performance and injury. *Clin Biomech* 18: 511–517, 2003.
7. Cahill MJ, Oliver JL, Cronin JB, et al. Influence of resisted sled-push training on the sprint force-velocity profile of male high school athletes. *Scand J Med Sci Sports* 30: 442–449, 2020.
8. Chiwaridzo M, Ferguson GD, Smits-Engelsman BCM. A systematic review protocol investigating tests for physical or physiological qualities and game-specific skills commonly used in rugby and related sports and their psychometric properties. *Syst Rev* 5: 122, 2016.
9. Clark KP, Weyand PG. Are running speeds maximized with simple-spring stance mechanics? *J Appl Physiol* 117: 604–615, 2014.
10. Cronin J, Hansen K, Kawamori N, McNair P. Effects of weighted vests and sled towing on sprint kinematics. *Sport Biomech* 7: 160–172, 2008.
11. Cross MR, Brughelli M, Brown SR, et al. Mechanical properties of sprinting in elite rugby union and rugby league. *Int J Sports Physiol Perform* 10: 695–702, 2015.
12. Cross MR, Samozino P, Brown SR, Morin JB. A comparison between the force-velocity relationships of unloaded and sled-resisted sprinting: Single vs. multiple trial methods. *Eur J Appl Physiol* 118: 563–571, 2018.
13. Darrall-Jones JD, Jones B, Till K. Anthropometric, sprint, and high-intensity running profiles of English academy rugby union players by position. *J Strength Cond Res* 30: 1348–1358, 2016.
14. Douglas J, Pearson S, Ross A, McGuigan M. Kinetic determinants of reactive strength in highly trained sprint athletes. *J Strength Cond Res* 32: 1562–1570, 2018.

AU5

15. Douglas J, Pearson S, Ross A, McGuigan M. Reactive and eccentric strength contribute to stiffness regulation during maximum velocity sprinting in team sport athletes and highly trained sprinters. *J Sports Sci* 38: 29–37, 2020.
16. Furlong LAM, Harrison AJ, Jensen RL. Measures of strength and jump performance can predict 30-m sprint time in rugby union players. *J Strength Cond Res* 2019. Epub ahead of print.
17. Haugen T, McGhie D, Ettema G. Sprint running: From fundamental mechanics to practice—A review. *Eur J Appl Physiol* 119: 1273–1287, 2019.
18. Higashihara A, Nagano Y, Ono T, Fukubayashi T. Differences in activation properties of the hamstring muscles during overground sprinting. *Gait Posture* 42: 360–364, 2015.
19. Higashihara A, Nagano Y, Ono T, Fukubayashi T. Differences in hamstring activation characteristics between the acceleration and maximum-speed phases of sprinting. *J Sports Sci* 36: 1313–1318, 2018.
20. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc* 41: 3–13, 2009.
21. Howard RM, Conway R, Harrison AJ. Muscle activity in sprinting: A review. *Sport Biomech* 17: 1–17, 2018.
22. Ishøi L, Aagaard P, Nielsen MF, et al. The influence of hamstring muscle peak torque and rate of torque development for sprinting performance in football players: A cross-sectional study. *Int J Sports Physiol Perform* 14: 665–673, 2019.
23. Kawamori N, Newton R, Nosaka K. Effects of weighted sled towing on ground reaction force during the acceleration phase of sprint running. *J Sports Sci* 32: 1139–1145, 2014.
24. Kawamori N, Newton RU, Hori N, Nosaka K. Effects of weighted sled towing with heavy versus light load on sprint acceleration ability. *J Strength Cond Res* 28: 2738–2745, 2014.
25. Kuitunen S, Komi PV, Kyröläinen H. Knee and ankle joint stiffness in sprint running. *Med Sci Sports Exerc* 34: 166–173, 2002.
26. von Lieres Und Wilkau HC, Irwin G, Bezodis NE, Simpson S, Bezodis IN. Phase analysis in maximal sprinting: An investigation of step-to-step technical changes between the initial acceleration, transition and maximal velocity phases. *Sport Biomech* 19: 141–156, 2020.
27. Lockie RG, Murphy AJ, Spinks CD. Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field-sport athletes. *J Strength Cond Res* 17: 760–767, 2003.
28. McMahon TA, Valiant G, Frederick EC. Groucho running. *J Appl Physiol* 62: 2326–2337, 1987.
29. Monte A, Nardello F, Zamparo P, Towing Sled. The optimal overload for peak power production. *Int J Sports Physiol Perform* 12: 1052–1058, 2017.
30. Morin J-B, Gimenez P, Edouard P, et al. Sprint acceleration mechanics: The major role of hamstrings in horizontal force production. *Front Physiol* 6: 1–14, 2015.
31. Morin J-B, Petrakos G, Jiménez-Reyes P, et al. Very-heavy sled training for improving horizontal-force output in soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 12: 840–844, 2017.
32. Morin JB, Dalleau G, Kyröläinen H, Jeannin T, Belli A. A simple method for measuring stiffness during running. *J Appl Biomech* 21: 167–180, 2005.
33. Nagahara R, Zushi K. Development of maximal speed sprinting performance with changes in vertical, leg and joint stiffness. *J Sports Med Phys Fitness* 57: 1572–1578, 2017.
34. Padua DA, Arnold BL, Perrin DH, et al. Fatigue, vertical leg stiffness, and stiffness control strategies in males and females. *J Athl Train* 41: 294–304, 2006.
35. Paradisis GP, Bissas A, Pappas P, et al. Sprint mechanical differences at maximal running speed: Effects of performance level. *J Sports Sci* 37: 2026–2036, 2019.
36. Petrakos G, Morin JBB, Egan B. Resisted sled sprint training to improve sprint performance: A systematic review. *Sport Med* 46: 381–400, 2016.
37. Quarrie KL, Raftery M, Blackie J, et al. Managing player load in professional rugby union: A review of current knowledge and practices. *Br J Sports Med* 51: 421–427, 2017.
38. Spinks CD, Murphy AJ, Spinks WL, Lockie RG. The effects of resisted sprint training on acceleration performance and kinematics in soccer, rugby union, and Australian football players. *J Strength Cond Res* 21: 77–85, 2007.
39. Van Den Tillaar R, Teixeira A, Marinho D. Acute effect of resisted sprinting upon regular sprint performance. *Acta Kinesiol Univ Tartu* 23: 19, 2018.
40. Wild JJ, Bezodis IN, North JS, Bezodis NE. Differences in step characteristics and linear kinematics between rugby players and sprinters during initial sprint acceleration. *Eur J Sport Sci* 18: 1327–1337, 2018.
41. Wilson GJ, Murphy AJ, Pryor JF. Musculotendinous stiffness: Its relationship to eccentric, isometric, and concentric performance. *J Appl Physiol* 76: 2714–2719, 1994.
42. Yamamoto H, Takemura M, Iguchi J, et al. In-match physical demands on elite Japanese rugby union players using a global positioning system. *BMJ Open Sport Exerc Med* 6: e000659, 2020.
43. Young W, Benton D, Duthie G, Pryor J. Resistance training for short sprints and maximum-speed sprints. *Strength Cond J* 23: 7–13, 2001.